

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**DESLIGAMENTO AUTOMÁTICO DE LINHAS  
DE TRANSMISSÃO PROVOCADO POR  
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS:  
UM ESTUDO DA SILVES-LECHUGA**

**Natália Sales Mesquita**

**Brasília, Julho de 2017.**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Elétrica  
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica.

# **DESLIGAMENTO AUTOMÁTICO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO PROVOCADO POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS: UM ESTUDO DA SILVES-LECHUGA**

**Natália Sales Mesquita**

Trabalho de conclusão submetido ao  
Curso de Graduação em Engenharia  
Elétrica da Universidade de Brasília  
como requisito parcial para obtenção do  
Título de Engenheira Eletricista.

Brasília, Julho de 2017

## FICHA CATALOGRÁFICA

MESQUITA, Natália Sales.

**Desligamento automático de linhas de alta tensão provocado por descargas atmosféricas.** [Distrito Federal] 2017.

xv,50 p. (ENE/FT/UnB, Graduação, Engenharia Elétrica, 2017)

Trabalho de Conclusão de Curso- Universidade de Brasília.

Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica.

Brasília, julho 2017. Orientação: Prof. Dr. Alcides Leandro da Silva.

1. Descargas atmosféricas

2. Linhas de Transmissão

3. Alta Tensão

4. Danos provocados por raios.

I. ENE/FT/UnB

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MESQUITA, Natália Sales (2017). **DESLIGAMENTO AUTOMÁTICO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO PROVOCADO POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS: UM ESTUDO DA SILVES-LECHUGA.** Trabalho de Conclusão de Curso, Publicação, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, xvi,51 p.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Natália Sales Mesquita.

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: **Desligamento automático de linhas de alta tensão provocado por descargas atmosféricas.**

GRAU/ANO: Graduação em Engenharia Elétrica/2017.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia do Trabalho de Conclusão de Curso e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia do Trabalho de Conclusão de Curso pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Natália Sales Mesquita.

Quadra 17 conjunto E casa 02 – Paranoá –DF

[nataliasmesquita@gmail.com](mailto:nataliasmesquita@gmail.com)

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Elétrica  
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica.

# **DESLIGAMENTO AUTOMÁTICO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO PROVOCADO POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS: UM ESTUDO DA SILVES-LECHUGA**

**Natália Sales Mesquita**

## **Banca Examinadora**

Prof. Dr. Alcides Leandro da Silva, UnB/ ENE  
(Orientador).

---

Prof. Francisco Damasceno Freitas, UnB/ ENE  
(Examinador interno).

---

Eng<sup>a</sup>.MSc Patricia de Oliveira F. Borin,  
Eletronorte

(Examinadora externa).

---

Brasília, Julho de 2017

# DEDICATÓRIA

*Gratidão a Deus por ter me dado forças de realizar o sonho de me tornar Engenheira Eletricista.*

*Dedico à minha mãe, Nilvani por me aconselhar a seguir o caminho da honestidade e garra sempre com o sorriso doce.*

*Ao meu pai, Mesquita, que me deixa feliz em ver em seus olhos o orgulho da minha conquista encarada como nossa conquista,*

*À minha irmã mais nova Larissa, pela motivação de dar sempre o meu melhor com o objetivo de mostrá-la exemplo a ser seguido,*

*À minha família que é a base para realizar sonhos.*

*À Universidade de Brasília que me deixa com o sentimento de realização e com o campo do conhecimento expandido, algo que trarei sempre junto a mim porque conhecimento traz a evolução.*

# AGRADECIMENTOS

*Agradeço aos meus professor e colegas de UnB pelo apoio e disseminação do conhecimento, especialmente ao meu orientador Prof. Dr. Alcides Leandro da Silva por complementar os meus estudos acadêmicos.*

*Agradeço aos colegas dos meus dois estágios na Agência Espacial e no Operador Nacional do Sistema Elétrico pelo acolhimento e gentileza no trabalho em equipe realizado diariamente.*

“Deus não joga dados. ”

Albert Einstein

## RESUMO

Em países de dimensões continentais como o Brasil, é notória a presença das Linhas de Transmissão especificamente quando elas formam mais de 130.000 km espalhadas pelo país. Essas Linhas estão expostas a intempéries, muitas vezes severas como descargas atmosféricas, chegando a provocar desligamentos. Este trabalho tem como foco o estudo das causas e consequências do desligamento automático da Linha Silves – Lechuga provocado por descargas atmosféricas em Manaus. Os dados da ocorrência foram coletados por um aplicativo de georreferenciamento, o *Geografic Instrumental System* – GIS, que registra a localidade afetada pelo fenômeno. Após análise concluiu-se que há influência significativa em Linhas de Transmissão de alta tensão quando atingida por descargas atmosféricas o que no caso em estudo provocou *blackout* na região.

Palavras-chave: Descargas atmosféricas, Linhas de Transmissão, Alta Tensão, Danos provocados por raios.



# ABSTRACT

Countries of continental dimensions such as Brazil, there is a notable presence of transmission lines specifically when they form more than 130,000 km spread throughout the country. These lines are exposed to bad weather, often as atmospheric discharges, even causing trips. This work focuses on the study of the causes and consequences of the Silves – Lechuga's trip Line caused by atmospheric discharges in Manaus. The occurrence data were collected by a georeferencing application, the Geographic Instrumental System - GIS, which records the locality affected by the phenomenon. After analysis, it is concluded, with significant influence, in 500 kV Transmission Lines, when it is given by atmospheric discharges.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	Motivação .....	1
1.2	Objetivos.....	3
1.3	Estrutura do trabalho .....	4
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
2.1	O Sistema Interligado Nacional – SIN.....	5
2.2	Procedimentos de Rede - PR .....	6
2.2.1	Relatório de Análise da Operação-RO.....	9
2.2.2	Relatório de Análise de Perturbação- RAP .....	9
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>14</b>
3.1	Apresentação do <i>Geografic Instrumental System</i> – GIS .....	14
3.2	O efeito Back Flash Over.....	21
<b>4</b>	<b>O CASO SILVES-LECHUGA .....</b>	<b>25</b>
4.1	Descrição da ocorrência .....	25
4.2	Processo de recomposição.....	33
<b>5</b>	<b>ANÁLISE DE RESULTADOS.....</b>	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>42</b>
6.1	Sugestão de trabalhos futuros .....	43
<b>7</b>	<b>Anexo .....</b>	<b>44</b>
7.1	Modelo de reaproveitamento de descargas atmosféricas .....	44
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>49</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Anulado o 1º dia de vestibular UEA [3] .....	1
Figura 2 - Notícia no G1 sobre o apagão [4].....	2
Figura 3- Nota à imprensa da ocorrência em Manaus [5].....	2
Figura 4 – Esquemático dos Procedimentos de Rede [7].....	6
Figura 5- Carga de Demanda 2010-2016 [11].....	12
Figura 6 - Determinação de posição do GPS[12] .....	15
Figura 7- Tela inicial GIS [13].....	16
Figura 8- Circuito 1 e 2 de Guarulhos/P.Caldas [14] .....	18
Figura 9- Distancia da descarga até a LT [14].....	19
Figura 10 - Descargas atmosfericas no Brasil [14] .....	20
Figura 11- Back Flash Over [15] .....	22
Figura 12- Nomenclatura dos equipamentos numa LT [15].....	23
Figura 13 - Local da falta [Elaboração própria].....	25
Figura 14 -Circuito 1 e Circuito 2 dispostos na torre de transmissão[9, adaptado] .....	27
Figura 15- Descargas atmosféricas do dia 23/10/2016 das 15h às 16h [14] .....	28
Figura 16- Esquemático da área afetada [9, adaptado].....	29
Figura17 Sistema Manaus 2015-2019 [ 17, adaptado] .....	30
Figura 18- Diagrama da área afetada pré-perturbação [8, adaptado].....	31
Figura 19 - Comportamento da frequência no minuto da perturbação[8].....	32
Figura 20- Diagrama da área afetada pós perturbação[8] .....	33
Figura 21-Oscilografia genérica de uma falha tipo curto circuito da Fase C [8, adaptado] .....	35
Figura 22 - Isoladores danificados do C1 e C2 [9, adaptado].....	36
Figura 23 - Isoladores danificados do C1 e C2 [8] .....	37
Figura 24- Torres de transmissão T1, T2 e T3[Elaboração própria] .....	38

Figura 25- Modelo simplificado de transmissão de energia[Elaboração própria] .....	38
Figura 26- Histórico de desligamentos por descargas atmosféricas.....	44
Figura 27- Modelo de reaproveitamento de descargas elétricas [Elaboração própria]	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Matriz de pontuação para cálculo do GIE [7].....	8
Tabela 2-Grau de Impacto da Ocorrência[7] .....	8
Tabela 3- Porcentagem comparativa 2010-2016 [11].....	12
Tabela 4 - Tabela do GIS [14, adaptada] .....	17
Tabela 5 - Fatores de multiplicação Ko e Kp, Resolução Normativa nº729 de 28 de junho de 2016 [18] .....	40

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Histórico de perturbações 2010-2014. Os valores acima referem-se a perturbações que envolveram a Rede Básica [10] .....	11
Gráfico 2 - Indicadores de Robustez do SIN (%). Os valores acima referem-se a perturbações que envolveram a Rede Básica [11] .....	13

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAREDE Programa de Análise de Redes Elétricas  
ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica  
BISE Boletim de Interrupção de Suprimento de Energia  
BrasilDat Sistema Brasileiro de Detecção de Descargas atmosféricas  
CA Corrente Alternada  
CCEE Câmara de Comercialização de Energia Elétrica  
CEPEL Centro de Pesquisa de Energia Elétrica  
CPST Contrato de Prestação de Serviço de Transmissão  
CUST Contrato de Uso de Serviço de Transmissão  
 $d$  distância  
EPE Empresa de Pesquisa Energética  
ERAC Esquema Regional de Alívio de Carga  
INPI Instituto Nacional de Propriedade Industrial  
GIS - *Geografic Instrumental System*  
GPS - *Global Positioning System*  
LT Linha de Transmissão  
MME Ministério de Minas e Energia  
MUST Montante de Uso Sistema de Transmissão  
ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico  
Plu Parcela de Ineficiência por ultrapassagem  
Pls Parcela de Ineficiência por sobrecontratação  
RAO Relatório de Análise de Operação  
RAP Relatório de Análise da Perturbação  
RAP- Receita Anual Permitida  
RinDat Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas  
RO Relatório de Análise da Ocorrência  
SGI Sistema de Gestão de Intervenções  
SE Subestação Elétrica  
SIN Sistema Interligado Nacional  
 $t$  tempo  
TUST Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão  
UHE Usina Hidrelétrica  
UTE Usina Térmica  
 $v$  velocidade

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Motivação

As Linhas de Transmissão –LT desempenham o papel muito importante de levar eletricidade de onde se gera para onde se consome; é a ponte entre produtores e consumidores. Em países de dimensões continentais como o Brasil, é notória a presença das LTs, especificamente quando se tem mais de 130.000 km de LT espalhadas pelo país [1]. O conjunto de todas essas Linhas constitui o Sistema Interligado Nacional –SIN.

A complexidade que forma o Sistema Interligado deve ser muito bem gerida para ser confiável e garantir relativa estabilidade a todos da geração ao consumo. Neste contexto, surgem o Operador Nacional do Sistema Elétrico -ONS e a Agência Nacional Energia Elétrica – ANEEL. As descargas atmosféricas chegam a provocar cerca de 70% dos desligamentos de LT na transmissão e 40% na distribuição [2]. Os vários quilômetros de Linhas estão expostos a fatores naturais e intempéries como as chuvas, ventos, queimadas, pássaros, árvores e descargas atmosféricas, que de alguma forma, podem provocar interrupção de transmissão de energia, dando origem as faltas.

O apagão do dia 23/10/2016, da cidade de Manaus, teve consequência direta no cancelamento do vestibular da Universidade do Estado do Amazonas - UEA. Os vestibulandos reclamaram que foram prejudicados pela ausência de luz e alguns fizeram a prova nos corredores para aproveitar a luz natural, foi notória a insatisfação da população e do comércio com o apagão na cidade, as notas saíram no G1 Figura 1 e Figura 2

23/10/2016 22h40 - Atualizado em 24/10/2016 01h41

## **UEA anula 1º dia de vestibular e prova da segunda-feira está confirmada**

Provas deste domingo (23) devem ser realizadas no dia 15 de novembro.  
Queda de energia causou tumulto entre candidatos.

Figura 1- Anulado o 1º dia de vestibular UEA [3]



# Apagão em Manaus faz UEA estender horário do primeiro dia de vestibular

Alunos foram mantidos em unidades após ocorrido neste domingo (23).  
UEA ampliará horário a partir do restabelecimento da energia.

Figura 2 - Notícia no G1 sobre o apagão [4]

Como a descarga atmosférica tomou grandes proporções e levou ao blackout da cidade o Operador Nacional do Sistema Elétrico realizou esclarecimentos no dia seguinte sobre o acontecido como mostra Figura 3. A nota para imprensa foi publicada no site oficial para que haja uma primeira explanação sobre o acontecido, enquanto os engenheiros realizam uma reunião com os agentes envolvidos donos dos equipamentos afetados e realizam um relatório para que as causas e providências tomadas sejam mais detalhadas, nesse caso foi realizado um RAP sobre o acontecido.

Início > Sala de Imprensa > Notícias

## Notícias

24/10/2016

### Nota à imprensa - Ocorrência em Manaus em 23/10/2016

Às 15:28h do último domingo, 23 de outubro, houve o desligamento automático dos dois circuitos das linhas de transmissão Silves – Lechuga, de propriedade da Manaus Transmissora de Energia, abrindo a interligação Tucuruí – Manaus e provocando o desligamento total do sistema Manaus, no estado do Amazonas.

A carga de Manaus na hora da ocorrência era de 841 MW, sendo que 56% da carga estava passando pelas linhas de transmissão.

O ONS e os agentes estão analisando as possíveis causas da ocorrência. No entanto, na hora do desligamento o tempo estava chuvoso na região e tudo indica que descargas atmosféricas atingiram as linhas de transmissão.

Às 15:39h foi ligado o circuito 1 da LT 500 kV Silves – Lechuga e às 16:02h foi iniciada a normalização das cargas. Às 16:26h, o ONS liberou a retomada de carga na totalidade para o sistema Manaus. A distribuidora local concluiu a normalização das cargas às 20:46h.

Assessoria de Planejamento e Comunicação do ONS

Figura 3- Nota à imprensa da ocorrência em Manaus [6]

A perturbação do dia 23/10/2016 gerou o RAP- RE 3 176/2016 para apresentar o processo de recomposição e analisar o que aconteceu, foi realizada uma reunião em que foram convocados todos os agentes envolvidos. Esse relatório gerou recomendações aos agentes envolvidos para que não haja reincidência de perturbações da mesma natureza e cabe aos agentes tomar providencias com prazos definido no relatório.

O Blackout de uma região nunca é bem quisto pelos habitantes porque causa transtornos ligados ao cotidiano, a atividades comerciais e atividades domésticas, o que ressalta a importância da robustez do SIN nos dias atuais.

## **1.2 Objetivos**

Neste trabalho, serão abordadas as consequências de faltas oriundas de descargas atmosféricas em linhas de alta tensão de corrente alternada, e como a tensão e corrente dessas LTs se comportam e quais medidas adotadas para se evitar reincidências em situações semelhantes.

Para o alcance das análises dessas faltas o aplicativo de apoio para o estudo proposto foi imprescindível *Geografic Instrumental System* – GIS. É uma ferramenta de georreferenciamento utilizada pelo ONS que discrimina o local de queimadas e descargas atmosféricas acontecidas em uma faixa de tempo e apresenta a que distancia aconteceu a descarga da linha de transmissão mais próxima. O aplicativo possui duas bases de dados o BrasilDat e o RinDat.

O estudo será baseado no desligamento da LT Silves para Lechuga na área Manaus no setor de 500kV, ocorrido no dia 23/10/2016 que causou a interrupção total de energia elétrica na cidade de Manaus por motivo de descargas atmosféricas na região. Com base nos dados do aplicativo GIS, é possível realizar um levantamento do histórico cronológico das descargas atmosféricas no dia da falta que atingiu a referida linha de transmissão, entre 15h00 e 16h00. O objetivo principal será abordar o procedimento adotado de recomposição, tempo total de recomposição do sistema e por fim quanto foi o montante financeiro abatido devido à falta.

A LT 500kV Silves/Lechuga faz parte da interligação Tucuruí-Macapá-Manaus, também popularmente conhecida como “Linhão de Tucuruí” que entrega energia da usina hidrelétrica de Tucuruí para a cidade de Manaus e transporta grande parcela da demanda energética da cidade de Manaus. A UHE Tucuruí tem capacidade de geração de 8.370 MW, é a usina com maior capacidade instalada designada totalmente brasileira.

### **1.3 Estrutura do trabalho**

O trabalho está organizado em 7 capítulos visando melhor explanação ao leitor. O Capítulo 1 – INTRODUÇÃO traz a visão geral e sucinta do que será tratado detalhadamente ao longo deste trabalho.

O Capítulo 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA traz o contexto organizacional do SIN com os termos técnicos e procedimentos adotados em perturbações de grande porte, os esquemas de alívio dos impactos causados por faltas no contexto da coordenação dos agentes, manutenção e disponibilidade dos equipamentos

O estudo de caso é apresentado no Capítulo 3 – MATERIAIS E MÉTODOS, em que se explana detalhadamente a perturbação que aconteceu dia 23/10/2016 em Manaus às 15h28, qual a situação dos fluxos e tensões no instante imediatamente anterior à perturbação e a recomposição da área afetada.

A descrição da ocorrência bem como a recomposição é abordada no Capítulo 4, em que relata o problema com informações técnicas da ocorrência.

No Capítulo 5 – ANÁLISE DE RESULTADOS aborda-se o comportamento da tensão e corrente na fase atingida bem como trata sucintamente o esquema da lógica de proteção, quais foram as providências tomadas para que não haja reincidência dessa natureza de modo que o SIN apresente cada vez mais robustez e confiabilidade na operação diária.

A perturbação trouxe consequências apresentadas no Capítulo 6 – CONCLUSÃO, que trata a perturbação nos aspectos técnicos e sociais que o desligamento da LT por motivo de descarga atmosférica.

O Capítulo 7 apresenta a bibliografia utilizada.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O desligamento automático por motivo de descarga atmosférica faz parte do Sistema Interligado Nacional – SIN, os procedimentos adotados e os recursos utilizados para amenizar os impactos na Rede Básica são apresentados a seguir com os principais esquemas de controle de frequência para manter a estabilidade do Sistema Elétrico.

### 2.1 O Sistema Interligado Nacional – SIN

O Sistema Interligado Nacional – SIN reúne diversos agentes e que torna necessário organizar os procedimentos para obter operação eficiente. O SIN consiste no conjunto de todas as linhas de transmissão delimitadas pelo território do Brasil, além da geração e distribuição. A palavra “interligado” faz referência à sensibilidade dos ativos de dependências de outros ativos. É obrigatório o equilíbrio de carga e geração do sistema como um todo para a robustez do sistema elétrico brasileiro. A grandeza afetada pelo desequilíbrio de geração e consumo que funciona como um indicador de estabilidade é a frequência definida como 60 *ciclos/segundo*, ou seja, 60 *Hertz*. Ressalta-se que a precisão admitida pelo ONS é de  $\pm 0,1$  Hz, a frequência maior que 60,1 Hz indica sobrefrequência significa que há mais geração que consumo. E analogamente, a frequência menor que 59,9 Hz indica subfrequência. O indicador é de suma importância para o bom funcionamento do SIN justifica o relatório diário da frequência em que o ONS trata de casos referentes a sub ou sobre frequência por mais de 10 minutos ininterruptos, a partir dessa informação com toda certeza há alguma perturbação que deve ser tratada que impede o bom funcionamento do sistema elétrico.

A vantagem de ter um sistema interligado é o intercâmbio entre estados em que a sazonalidade dita a geração da maior parte da matriz energética brasileira como usinas hidrelétricas e eólicas, então os intercâmbios acontecem com intuito de atender todas as cargas solicitadas mesmo que a energia seja gerada em outros estados.

A atuação do ONS na coordenação da operação do sistema elétrico é baseada em estudos realizados que estão documentados nos procedimentos de rede- PR, conforme mostrado na Figura 4

## 2.2 Procedimentos de Rede - PR

Com base nas informações contidas nos módulos do Procedimentos de Rede - PR, os operadores de tempo real seguem todas as ações para a recomposição de determinado local, ou até mesmo determinado equipamento quando o desligamento não obtém grande severidade. PR é dividido em 26 Módulos que tratam de aspectos operacionais do SIN. O Módulo mais utilizado é MPO- Modulo10 que trata sobre o Manual de Procedimentos da Operação. [7]

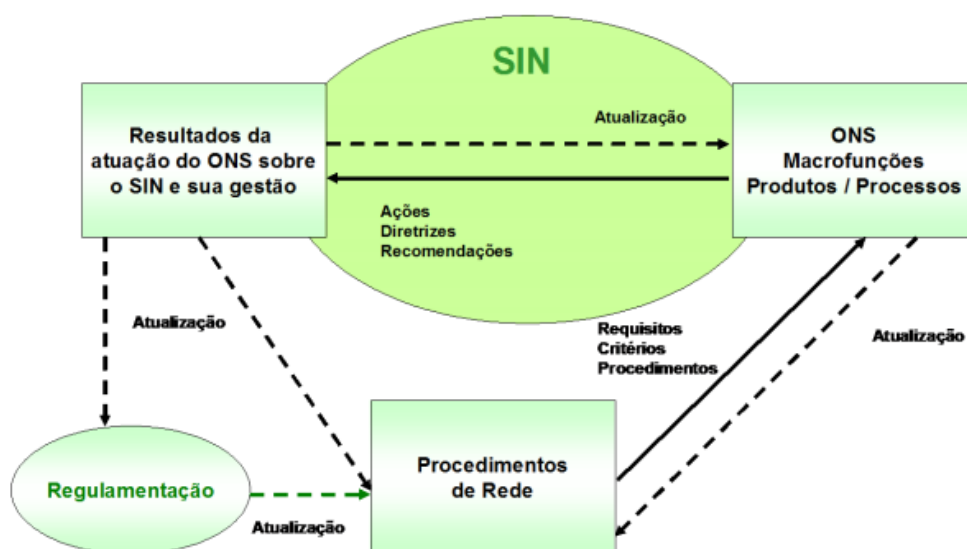


Figura 4 – Esquemático dos Procedimentos de Rede [7]

Os submódulos assim como todos os módulos do PR estão disponíveis na página online do ONS. Os procedimentos de rede são o resultado da regulamentação e experiências de processos de gestão do SIN. É uma tática que é atualizada de tempos em tempos junto aos agentes de operação de acordo com a necessidade de atualização e aprovada pela ANEEL. Há a retroalimentação para que se aprimore a operação em cada versão do PR com a experiência no cotidiano da operação diária.

O ajuste de frequência tem um aliado chamado Controle Automático de Geração- CAG tem como função gerar blocos de energia de forma a suprir possíveis demandas de consumo de energia para determinada situação imprevista do dia. O objetivo maior é manter a frequência do SIN ajustada em 60 Hz, o qual nos diz que existe equilíbrio ente geração e consumo, porém não é um recurso utilizado em situação de

perturbações , este tem caráter apenas de controlar a frequência com o SIN operado em condições normais, sem nenhum equipamento indisponível e faz um ajuste fino da frequência, o que não se pode consertar quando se trata de uma perturbação que traz variações grandes, nas casas decimais da frequência. Porque as usinas que fazem parte de CAG são hidráulicas com folga de geração nominal para geração instantânea, porém há uma forte dependência com os níveis de reservatórios de cada uma. O CAG recorre a recursos que dependem da sazonalidade, reservatórios cheios, etc. O objetivo principal do CAG não é atuar em perturbações, apenas ajustes de frequência.

A operação do sistema elétrico tem subdivisões entre 4 centros e o Centro Nacional que conecta os quatro. No âmbito de equipamentos de cunho sistêmicos, como as linhas de intercâmbio o Centro Nacional –CNOS tem uma visão geral e fazem o intermédio de dois centros regionais.

O centro Nacional CNOS é o centro que coordena os outros quatro centros regionais do ONS, os COSR-NCO, COSR-S, COSR-SE, COSR-NE, em que cada centro é responsável pelos ativos presentes na sua região, os centros se comunicam entre si justificando a troca semanal de base de dados entre centros, em que cada centro recebe informações dos demais para que em caso de alguma anormalidade em que o centro não possa operar um centro tenha dados atualizados para operar em substituição ao outro.

O ERAC – Esquema Regional de Alívio de Carga acontece exatamente quando a frequência não está estabilizada em 60 Hz e então a estratégia para o equilíbrio de geração e consumo é cortar cargas propositalmente, de forma previamente estudada pelo ONS. O indicativo para o corte de carga é a taxa em que a frequência diminui por segundo, Hz/s da frequência da rede. Dadas as condições sistêmicas acontece o alívio da carga em blocos de energia de forma gradual para que haja recuperação da estabilidade da frequência.

O estabelecimento de um método para classificar as interrupções de suprimentos de Energia no Sistema Elétrico pelo Boletim de Interrupção de Suprimento de Energia – BISE, os procedimentos e filosofia do BISE se encontra no PR. O critério para realização do BISE é interrupção de 100 MW com intervalo de tempo igual ou superior a 10 minutos ininterruptos. A severidade é classificada em patamares pelo Grau de impacto da Ocorrência – GIE em que pode obter valor de zero a dez.

No relatório do BISE é apresentado o método de como se faz para obter o grau de impacto da Ocorrência-GIE. GIE é uma forma de mensurar a gravidade de determinada

ocorrência. O tempo de duração, quantidade de caga cortada em MW, horário, abrangência e população afetada são mensurados com pesos de 0,25 até 2,0. Note na Tabela 1

Tabela 1- Matriz de pontuação para cálculo do GIE [7]

	Pontuação							
Aspecto considerado	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
Carga Interrompida (MW) – % da Macro-região	C≤5%	5%<C≤10%	10%<C≤20%	20%<C≤40%	40%<C≤60%	60%<C≤70%	70%<C≤80%	C>80%
Tempo Médio – Minutos	0<T≤15	15<T≤30	30<T≤60	60<T≤90	90<T≤120	120<T≤180	180<T≤240	T>240
Período do dia	Domingo / Feriado		Dia útil	Dia útil	Dia útil	Sábado	Dia útil	
			00:00-06:00	06:00-08:00	22:00-24:00			
			Sábado	Sábado	Sábado			
	00:00-08:00		08:00-24:00	00:00-08:00	22:00-24:00	08:00-18:00	18:00-22:00	08:00-18:00
Abrangência – % da Macro-região	A≤5%	Até 50% da Capital, até 50% Polo Industrial ou 5%<A≤10%	≥ 50% da Capital, ≥ 50% Polo Industrial ou 10%<A≤20 %	20%<A≤40%	40%<A≤60%	60%<A≤70%	A>70%	A>70% das 2 macro-regiões
População – % da Macro-região	P≤5%	5%<P≤10%	10%<P≤20%	20%<P≤40%	40%<P≤60%	60%<P≤70%	70%<P≤80%	P>80%

O resultado das somas dos cinco critérios é o indicador GIE, que é discretizado em sete classificações na Tabela 2

Tabela 2-Grau de Impacto da Ocorrência[7]

Grau de Impacto Da Ocorrência (GIE)	Classificação	Descrição sucinta
$9,5 < GIE \leq 10,0$	Distúrbio extremamente grave	Envolve mais de 70% do estado, com duração e horário de ocorrência críticos.
$8,5 < GIE \leq 9,5$	Distúrbio muito grave	Envolve mais de 50% do estado, podendo atingir a capital ou um grande pólo industrial. O período do evento e o tempo de recomposição definem a intensidade do distúrbio.
$7,0 < GIE \leq 8,5$	Distúrbio grave	
$5,5 < GIE \leq 7,0$	Distúrbio de grande porte	Envolve em torno de 50% do estado, e usualmente com horário do evento e tempo de recomposição críticos.
$4,0 < GIE \leq 5,5$	Distúrbio de médio porte	
$2,5 < GIE \leq 4,0$	Distúrbio de pequeno porte	Envolve até 50% do estado, com duração/período de ocorrência menos críticos, ou ainda, um número limitado de consumidores com período de ocorrência e tempo de recomposição críticos.
$GIE \leq 2,5$	Distúrbio de efeito restrito	Abrangência restrita, envolvendo limitado número de consumidores, e usualmente em períodos/duração pouco críticos.

Ocorrências são eventos ou ações que fazem o SIN operar fora de suas condições normais e são realizados os relatórios da análise da Pós Operação. Os relatórios têm a função de analisar toda falha, de teor mais brando até o teor mais grave,

como a causa do acontecido, o porquê, bem como realizar recomendações para que a falha não se repita, como caráter preventivo. Os relatórios são realizados pelo ONS com comentários dos agentes envolvidos, de tal forma que fique registrado a ocorrência e que com toda a análise e as recomendações tomadas e preventivas haja o aprimoramento da operação do sistema. No Brasil, há três tipos de relatórios da ocorrência e seus respectivos submódulos que são tratados a seguir: Relatório de Análise de Ocorrência – RO (Submódulo 22.2), Relatório de Análise da Operação – RAO (Submódulo 22.5), Relatório de Análise de Perturbação – RAP (Submódulo 22.3). Para cada relatório existe dentro dos Procedimentos de Rede a versão atualizada de elaboração do documento. A diferença entre RO, RAO e RAP é a ideia de quão prejudicial para o SIN foi a ação abordada, considerando desligamentos forçados, cortes de cargas, tempo de recomposição. O processo de análise de ocorrências é iniciado com a identificação da anormalidade ou dificuldade na operação do SIN, realizado no processo de triagem de ocorrências e perturbações ou por solicitação dos agentes de operação.

### **2.2.1 Relatório de Análise da Operação-RO**

O Relatório de Análise de Ocorrência trata de ações que trouxeram a operação do SIN fora das suas condições normais. Caracterizado na maioria dos casos por falha humana da equipe de manutenção de instalações ou operação e por consequência tem desligamentos forçados de caráter accidental. E também falha de supervisão de equipamentos que fazem parte da operação em condições normais. O desenrolar da tramitação acontece por meio de um aviso que ONS envia aos agentes envolvidos, logo em seguida a minuta para comentários e alterações e por fim a versão final que é de comum acordo entre agente e ONS, com o prazo de 7 dias úteis contados desde o aviso até a versão final.

### **2.2.2 Relatório de Análise de Perturbação- RAP**

O Relatório de Análise de Perturbação trata de ações que tiveram consequências mais graves para a operação do SIN. Perturbação é definida como *“ocorrência no SIN caracterizada pelo desligamento forçado de um ou mais de seus componentes, que acarreta quaisquer das seguintes consequências: corte de carga, desligamento de outros componentes do sistema, danos em equipamentos ou violação de limites operativos.”*[7]. Portanto, entende-se que perturbação é um tipo de ocorrência mais acentuada com consequências de elevado risco de operação. O prazo para realização do RAP não é restrito como no RO, como se trata de uma perturbação existem mais



componentes envolvidos, por consequência mais agentes envolvidos. Dá se início com a carte de convocação para reunião do RAP, em que o agente e ONS fornecem informações mais detalhadas do acontecido. Na sequência, vem a minuta com as informações colhidas na reunião. A minuta é enviada a todas as partes envolvidas para comentários e possíveis alterações. Por fim, a versão final que tem toda a descrição da perturbação, as causas e recomendações a serem tomadas e tomadas para evitar reincidência de eventos dessa natureza.

Intervenção é toda ação em que o agente tem que indisponibilizar um equipamento ou LT de tal forma que o SIN se reorganize para continuar funcionando em condições normais de operação. A intervenção é solicitada pelo agente proprietário do equipamento no sistema de Gestão de Intervenções - SGI e vai ser autorizado pelo ONS quando e por qual intervalo de tempo estará indisponível. Mesmo após ser autorizado, o agente deve coordenar todas as manobras junto aos operadores de tempo real do ONS. A coordenação é necessária porque pode ser que mesmo com autorização previa, seja impossível desligar ou ligar tal equipamento se houver simultaneamente alguma anormalidade no SIN, como por exemplo *trip* acidental de outra linha ou perda de geração, entre outros.

Toda intervenção recebe um número em que tem uma descrição do serviço a ser realizado, por quando tempo, quais dias, fim de semana ou de madrugada, se vai ativar ou desativar, manutenção preventiva de unidades geradoras, troca de equipamentos danificados, são vastas os tipos de intervenções que acontecem no SIN todos os dias.

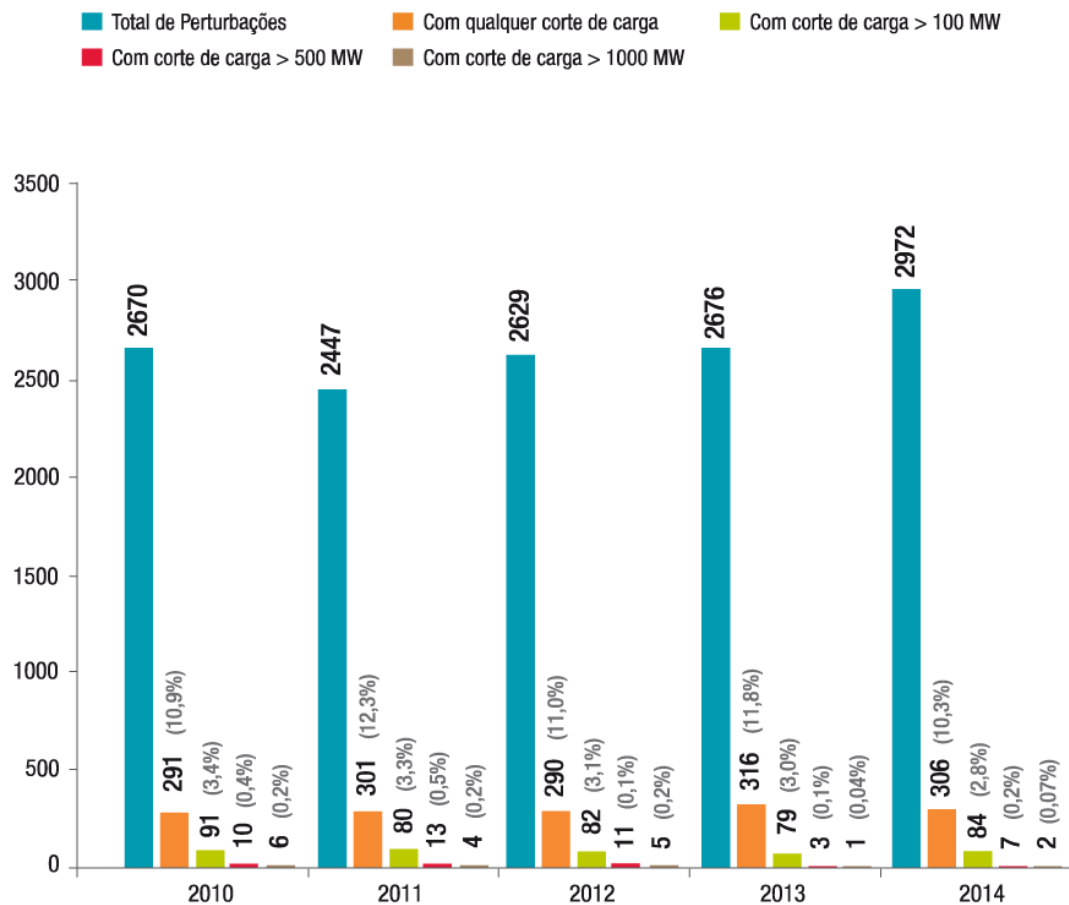


Gráfico 1- Histórico de perturbações 2010-2014. Os valores acima referem-se a perturbações que envolveram a Rede Básica [10]

No Gráfico 1 as perturbações na rede básica, isto é, apenas nas linhas de transmissão acima de 230kV. A maioria das perturbações não envolvem cortes de cargas, e ainda menos com corte de carga acima de 500MW representa menos de 0,1% do total das perturbações.

A demanda do SIN é um parâmetro para analisar que 500MW de perda de carga é pouco quando comparado com a demanda total, que chegou a 80000 MWh/h em 2016, o que é um indicador de confiabilidade da rede básica.

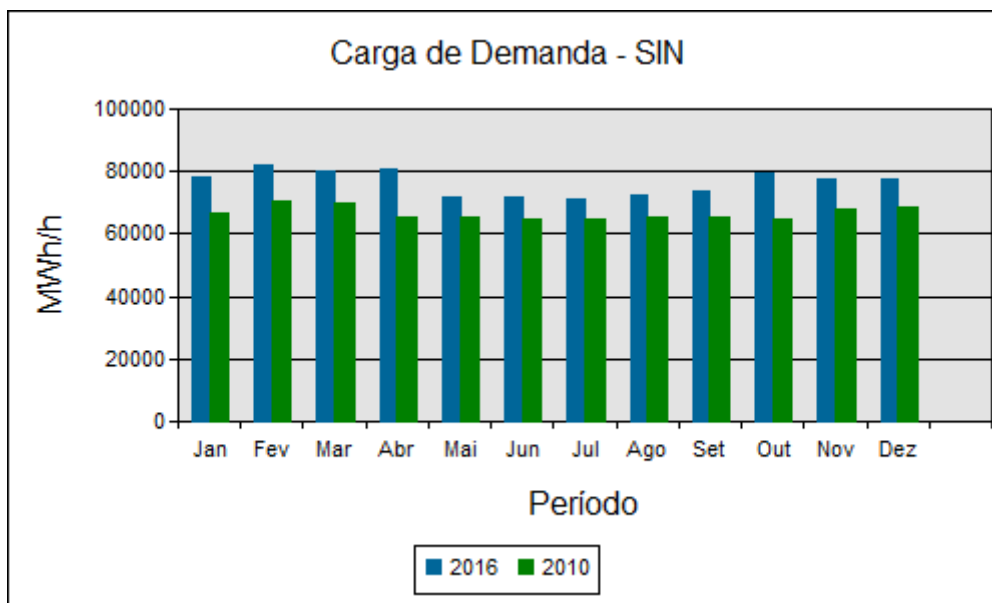


Figura 5- Carga de Demanda 2010-2016 [11]

O consumo de energia tem a tendência de crescer como evidencia a Tabela 3, no intervalo de 6 anos o aumento de consumo médio foi de 14,43%. Enxergando de forma a planejar o quadro de geração é necessário o aumento aproximado de 10 000MW. Os altos valores de potência ressaltam a importância do bom funcionamento do SIN, de tal forma que a transmissão tenha sucesso, ou seja, não seja interferida por falhas causadas, por exemplo, por queimadas e descargas atmosféricas.

Tabela 3- Porcentagem comparativa 2010-2016 [11]

	2016	2010	%
Jan	77898,34	66766,46	16,7%
Fev	82110,92	70478,14	16,5%
Mar	79814,76	69675,31	14,6%
Abr	80983,89	65477,85	23,7%
Mai	71876,93	65448,27	9,8%
Jun	71524,34	64737,02	10,5%
Jul	70933,53	64718,64	9,6%
Ago	72299,49	65578,12	10,2%
Set	73419,12	65572,02	12,0%
Out	79613,84	65005,52	22,5%
Nov	77662,94	68083,6	14,1%
Dez	77671,46	68823,3	12,9%

Os Indicadores de Robustez da Rede Básica se traduzem em manter o SIN operando em condições normais, isto é, sem nenhum equipamento de grande porte indisponível,

com menor número de perturbações no Gráfico 2, onde as colunas representam respectivamente com corte de carga com mais que 1000MW, maior que 100MW, qualquer corte de carga e total de perturbações

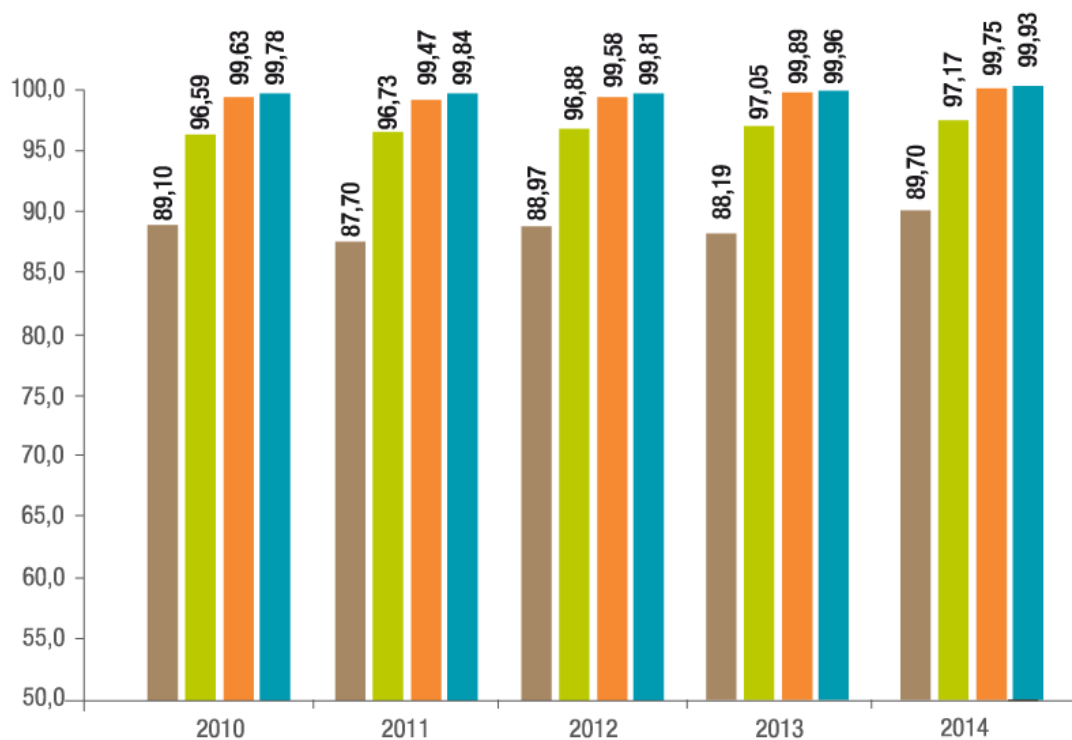


Gráfico 2 - Indicadores de Robustez do SIN (%). Os valores acima referem-se a perturbações que envolveram a Rede Básica [11]

Descargas atmosféricas são descargas elétricas de grande extensão (alguns quilômetros) e de grande intensidade (picos de intensidade de corrente acima de 20kA), que ocorrem devido ao acúmulo de cargas elétricas em regiões localizadas da atmosfera, em geral dentro das nuvens. As descargas atmosféricas ocorrem em variados ambientes e situações principalmente em descarga nuvem-nuvem e nuvem-terra. A descarga nuvem- nuvem é o fenômeno acontecido no local onde não há presença de linhas de transmissão, portanto as descargas de interesse são as classificadas por nuvem terra, estas sim atingem o solo e tem possibilidade de atingir uma linha de transmissão que geralmente ficam em torres altas de até 30 metros.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Apresentação do *Geografic Instrumental System* – GIS

Para o bom funcionamento do SIN se deve ter supervisão dos fluxos de potência, tanto ativa quanto reativa, dos estados dos componentes como chaves seccionadoras, disjuntores, unidades geradoras, transformadores, entre outros. Além das instalações propriamente ditas se tem a interferência de outros fenômenos da natureza como as queimadas e as descargas atmosféricas que acontecem de maneira frequente e afeta principalmente as linhas de transmissão expostas a condições climáticas.

Existe o monitoramento de tais fenômenos relevantes para a operação, o Operador Nacional do Sistema Elétrico tem o aplicativo chamado *Geografic Instrumental System* – GIS.

O sistema de georreferenciamento, foi implantado no ONS em 2002 com o objetivo de ter a visão de descargas atmosféricas acontecidas próximas às LTS, possibilitar a visão da operação de evitar possíveis agravantes nos desligamentos onde está acontecendo descargas atmosféricas no sentido de reprogramação antecipada, bem como ser uma ferramenta de determinar estatísticas mais confiáveis de desligamentos como causa de descargas atmosféricas com mais certeza.

A distância da descarga até a LT é encontrada pelo sistema de triangulação satelital da mesma forma do funcionamento de um *Global Positioning System* - GPS. Os transmissores assim como os receptores do GPS são sincronizados por um relógio com estampa de tempo em milissegundos, por esse relógio é possível determinar o instante de emissão e recepção do sinal visto que o sinal se transporta na velocidade na luz. Determinado o tempo e a velocidade, a distância é a única incógnita a ser calculada pela equação:

$$d = v * t$$

Sendo:

V      velocidade

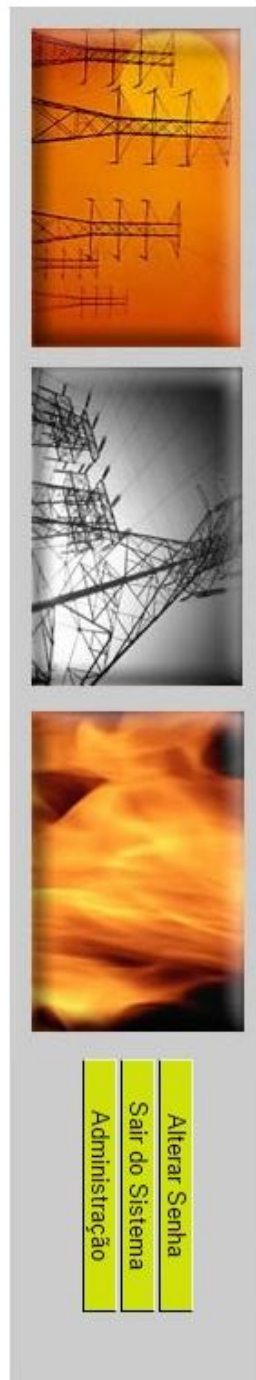
t      tempo

A distância  $d$  é determinada com erro de precisão médio de aproximadamente 20 m, porém há estudos que almejam diminuir este número. A localização é feita pelo sistema de triangulação são necessários 3 satélites para que o ponto de intersecção entre eles seja a posição real, com menos de 3 GPSs a posição pode ser entendida para todas as direções do raio determinado, Figura 6



Figura 6 - Determinação de posição do GPS[12]

A aplicação GIS tem a página inicial com opções de verificar pontos de foco de queimadas, sistema de informação tecnológica e pontos de descargas atmosféricas.



### 3. Aplicações GIS



Sistema de Detecção de Queimadas



Sistema de Detecção de Descargas Atmosféricas



Sistema de Informações Meteorológicas

*GIS ou Sistema de Informações Geográficas (SIG)* é um sistema computacional composto de software e hardware, que permite a integração entre bancos de dados (tabelas) e gráficos (mapas), para o processamento, análise e saída de informações geograficamente referenciadas.

Os produtos criados são mapas, gráficos, tabelas e relatórios, com o objetivo de planejar e monitorar questões ligadas ao espaço físico geográfico e a tomada de decisão.

Figura 7- Tela inicial GIS [13]

O GIS tem dois servidores de dados, o RINDAT e o BRASILDAT, em que os dados com distancia, e servidor são informados como na figura abaixo contidos numa planilha do Excel,Tabela 4.

Tabela 4 - Tabela do GIS [14, adaptada]

<b>Origem Descarga</b>	<b>ID Descarga</b>	<b>ID LTR</b>	<b>Nome LTR</b>	<b>Dist. Descarga-LTR (m)</b>
BRASILDAT	192360785	GOALD-2STBT1	LT 230 kV BARRO ALTO / AGUAS LINDAS C 1 GO	170,4
BRASILDAT	192360815	GOLUZ-5RDE-1BA	LT 500 kV LUZIANIA / RIO DAS EGUAS C N1 GO/BA	320,2
BRASILDAT	192360816	GOLUZ-5RDE-1BA	LT 500 kV LUZIANIA / RIO DAS EGUAS C N1 GO/BA	82,5
BRASILDAT	192360872	MGUSIM3USCL1	LT 345 kV ITUMBIARA / P. COLOMBIA C 1 MG	19
BRASILDAT	192360666	SPARA-4MSOL1	LT 440 kV ARARAQUARA CTP / MIRASSOL II C 1 SP	579,1
BRASILDAT	192360767	SPARA-4MSOL1	LT 440 kV ARARAQUARA CTP / MIRASSOL II C 1 SP	14,4
BRASILDAT	192360856	SPARA-4MSOL1	LT 440 kV ARARAQUARA CTP / MIRASSOL II C 1 SP	234
BRASILDAT	192361043	SPARA-4MSOL1	LT 440 kV ARARAQUARA CTP / MIRASSOL II C 1 SP	973,3
BRASILDAT	192360666	SPARA-4MSOL2	LT 440 kV ARARAQUARA CTP / MIRASSOL II C 2 SP	579,1
BRASILDAT	192360767	SPARA-4MSOL2	LT 440 kV ARARAQUARA CTP / MIRASSOL II C 2 SP	14,4
BRASILDAT	192360856	SPARA-4MSOL2	LT 440 kV ARARAQUARA CTP / MIRASSOL II C 2 SP	234
BRASILDAT	192361043	SPARA-4MSOL2	LT 440 kV ARARAQUARA CTP / MIRASSOL II C 2 SP	973,3
BRASILDAT	192360846	SPILS-4MSOL1	LT 440 kV ILHA SOLTEIRA / MIRASSOL II C 1 SP	951,3
BRASILDAT	192360846	SPILS-4MSOL2	LT 440 kV ILHA SOLTEIRA / MIRASSOL II C 2 SP	904,9
BRASILDAT	192360768	TOSTGU5PEI21	LT 500 kV GURUPI / PEIXE 2 C 1 TO	110,2
RINDAT	282773577	SPATB-3STPC1MG	LT 345 kV ATIBAIA II / POCOS CALDAS C 1 SP/MG	396,4
RINDAT	282773577	SPSTCA3STPC1MG	LT 345 kV CAMPINAS / POCOS CALDAS C 1 SP/MG	392,3
RINDAT	282773577	SPSTGA3STPC1MG	LT 345 kV GUARULHOS / POCOS CALDAS C 1 SP/MG	486,2
RINDAT	282773577	SPSTGA3STPC2MG	LT 345 kV GUARULHOS / POCOS CALDAS C 2 SP/MG	447



Os dados foram coletados no dia 22/11/2016, a origem da descarga diz respeito sobre qual servidor detectou tal fenômeno, onde cabe uma avaliação tanto qualitativa e quantitativa que será tratada a seguir. O 'ID' de descarga é o código que identifica cada LT entre dois locais, como por exemplo LT 345 kV GUARULHOS / POCOS CALDAS C 1 SP/MG, que traz em sequência a tensão da linha, 345 kV, partindo de Guarulhos até Poços de caldas, circuito 1. Uma mesma linha pode ter mais de um circuito como a referida linha de transmissão.

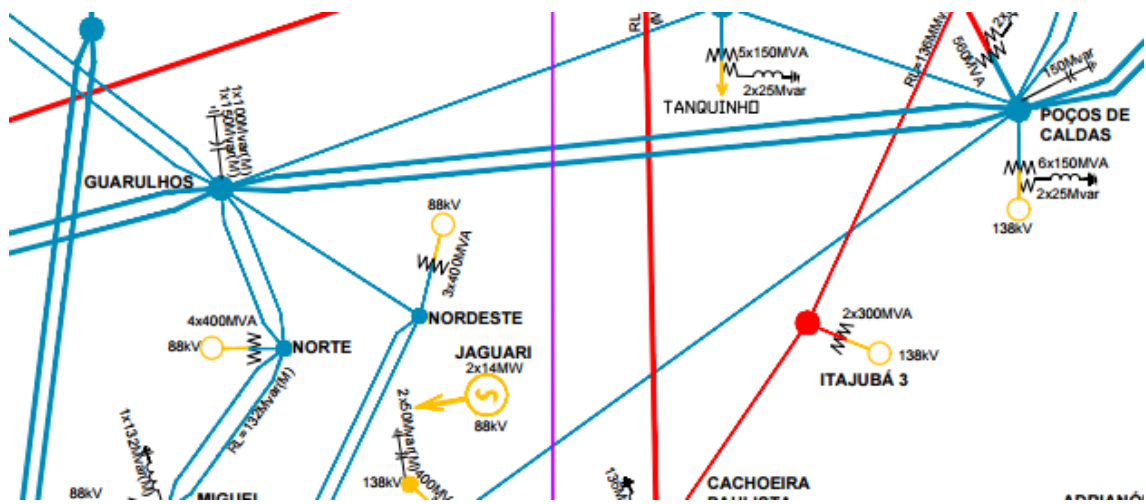


Figura 8- Circuito 1 e 2 de Guarulhos/P. Caldas [14]

No último registro da tabela pode-se ver a mesma linha com o circuito 2 na  
Figura9

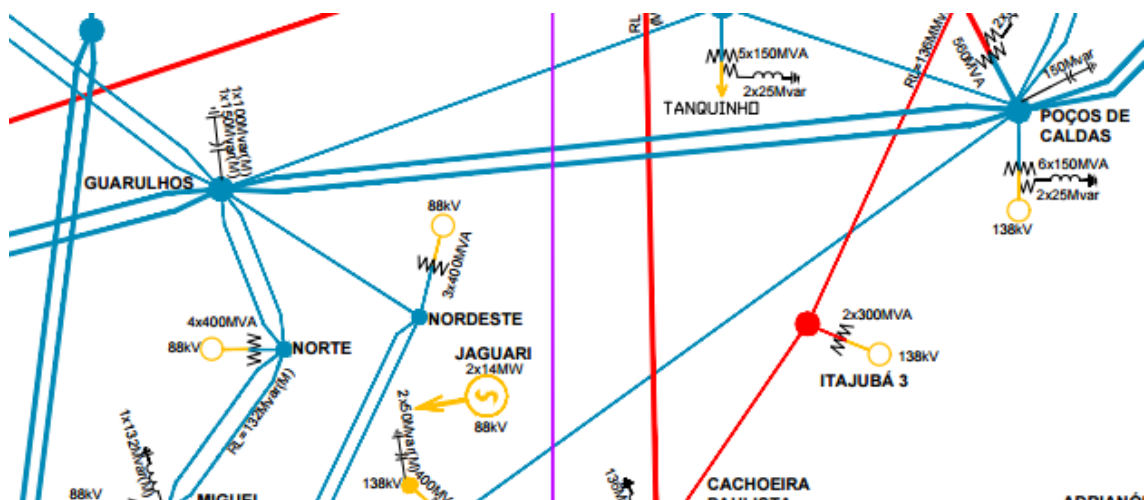




Figura 8 O agente operador é o responsável por todas as manobras na LT. A distância em Km é o percurso em linha reta da descarga até a linha de transmissão (centroide) da linha. Nota-se a distância de 150m da descarga nuvem-terra até a linha de 525 kV de Blumenau até Campos Novos, circuito 1.

Figura 9- Distancia da descarga até a LT [14]

Existem diversos tipos de descargas atmosféricas, dentre elas o tipo nuvem-nuvem e nuvem-terra. O tipo nuvem-nuvem é aquele que acontece troca de descargas entre duas nuvens, o qual não nos interessa nesse estudo pois não atinge as linhas de transmissão. As descargas nuvem- terra são aquelas que vão da nuvem até o solo, esse sim, nos interessa na análise a ser feita. Essas descargas acontecem com altos números de corrente, na casa dos 1000 (INPE) amperes, um das justificativas para atentar ao monitoramento das descargas, a tela de monitoramento do GIS é a figura abaixo.



Figura 10 - Descargas atmosféricas no Brasil [14]

Os pontos em “x” no desenho nas LT são as descargas e as linhas coloridas são as LTs como estão dispostas no território brasileiro. As linhas representadas são as da rede básica, isto é, as linhas com tensão maior que 230 kV, são de 230 kV de cor verde, 345 kV de cor azul, 440kV de cor rosa em SP, excepcionalmente, encontra-se linhas de

440kV por convenção da época que são as linhas na cor rosa.e 500 kV de cor vermelha, . Os pontos em “x” são onde aconteceram as descargas no dia 22 de novembro utiliza dois servidores, o BRASILDAT e RINDAT que foram analisados em dois relatórios dividido por estudo qualitativo e outro no estudo quantitativo realizadas pelo ONS no período de 9 meses no ano de 2015.

Na análise quantitativa, a ideia é avaliar a disponibilidade e o desempenho esperado, no sentido de atraso máximo de 1 minuto para a entrega dos arquivos das informações. Na análise de qualitativa a ideia básica é realizar um estudo comparativo com as descargas detectados pela Rede BRASILDAT com base nas informações da Rede RINDAT através da análise dos desligamentos de linhas de transmissão causadas por descargas atmosféricas. A conclusão que se chegou é que os dois servidores trabalham de formas complementares no território nacional na capacidade de detecção, uma vez que a Rede “A rede BRASILDAT possui uma elevada capacidade de detecção de des-cargas nuvem-nuvem, superior a rede RINDAT. Quanto a detecção das descargas nuvem-terra, as quais são de maior relevância por representarem eventos responsáveis por desligamentos de linhas de transmissão, a rede RINDAT possui uma maior capacidade de detecção em relação à rede BRASILDAT, mesmo possuindo uma abrangência territorial menor, ainda com relação a comparação numérica entre as redes, foi observada uma elevada de detecção de descargas nuvem-terra da rede BRASILDAT fora do território nacional .Isto não representa grande vantagem, pois estes dados não são utilizados para a tomada de decisão.

Foi evidenciado que nas regiões sul e sudeste a detecção de descargas nuvem-terra da rede RINDAT é superior a rede BRASILDAT. Nas demais regiões do país, onde a eficiência de detecção da rede RINDAT é reduzida, é identificado um volume superior de descargas nuvem-terra da rede BRA-SILDAT. Desta forma, podemos concluir que atualmente as redes BRASILDAT e RINDAT possuem características complementares com relação a capacidade de detecção na abrangência de todo o território nacional.

### **3.2 O efeito Back Flash Over**

Os desligamentos em linhas de transmissão como causa as descargas atmosféricas são muitos, aproximadamente 70% na transmissão e 40% na distribuição, justifica a importância de se conhecer mais sobre o efeito da referida descarga, de tal forma a saber como lidar em caso de falta por esse tipo de fenômeno. [1]



Figura 11- Back Flash Over [15]

Quando uma descarga atinge a torre ou o cabo guarda, uma parcela da corrente fluirá através da torre, fazendo com que esta fique com potencial elevado em relação à terra. Se este potencial for suficientemente alto para que a diferença de potencial aplicada à cadeia de isoladores supere o valor da tensão suportável da mesma, ocorrerá uma descarga disruptiva, a qual é denominada “backflashover”. Uma maneira de reduzir a ocorrência de “backflashovers” é diminuir o valor da impedância de aterramento da torre. Isso se deve ao fato de que, ao atingir a base da torre, a corrente sofre uma reflexão, produzindo uma onda de tensão (“tensão refletida”) que irá se somar àquela que se desenvolve na cadeia de isoladores. Entretanto, essas duas ondas de tensão apresentam polaridades opostas, de modo que quanto maior for a amplitude da tensão “refletida”, menor será a tensão total na cadeia. Como a amplitude da tensão refletida aumenta à medida que diminui o valor da impedância de aterramento, pode-se dizer

que quanto menor o valor desta, menor o número de interrupções da linha decorrentes de “backflashovers”. A impedância de aterramento das torres é um dos parâmetros que mais afetam o desempenho de uma linha de transmissão frente a descargas atmosféricas devendo-se sempre, pelas razões expostas, procurar limitá-la aos valores mais baixos possíveis.

O efeito observado na bibliografia é chamado de efeito tem duas versões, a primeira delas é o Flash Over, é o impacto direto da descarga na LT quebrando o isolamento e assim criando um arco fotovoltaico entre a LT e a terra, Figura 11, porque a terra tem o menor potencial.

A segunda versão é quando a descarga não atinge exatamente a LT, pode ser direcionado no cabo guarda ou a torre propriamente dita. Geralmente o arco é bem observado quando o equipamento não é bem aterrado.

O *trip* acidental pode acontecer também por uma descarga que aconteceu em alguns metros da LT ou até mesmo atingir transformadores próximos causando o desarme. Com uma descarga onde do equipamento que sobre desligamento devido a tensão induzida no referido equipamento.

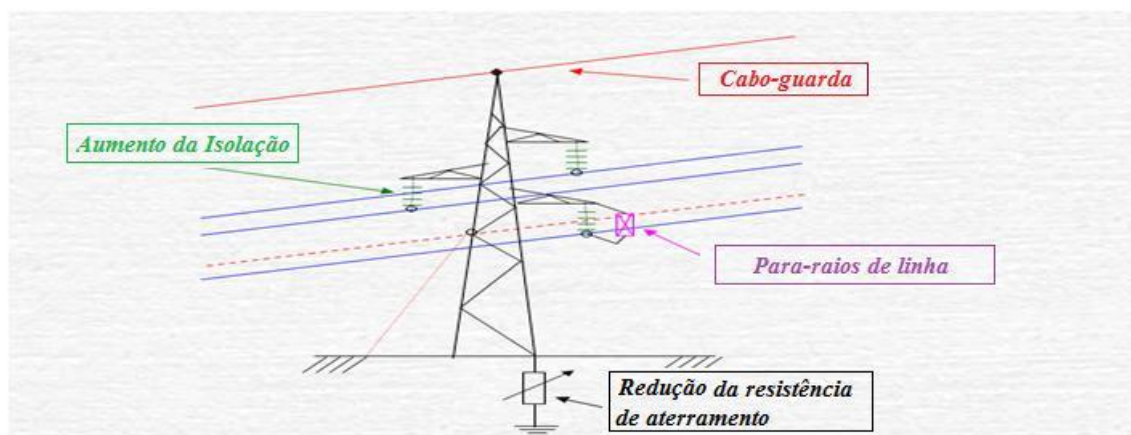


Figura 12- Nomenclatura dos equipamentos numa LT [15]

O cabo guarda é um condutor conectado a terra com intuito de atrair para si as descargas atmosféricas que poderiam atingir as fases carregadas.

A redução da resistência de aterramento, também conhecida como existência de pé de torre é um parâmetro que deve ser projetado para um valor baixo, na ordem de 20  $\Omega$  para que toda a corrente siga o caminho para terra, de modo a danificar menos equipamentos.

O Sistema Integrado de Apoio à Análise de Perturbações - SINAPE é uma ferramenta utilizada para registros de oscilografia, a marca SINAPE é registrada pelo

Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI). O SINAÉ é muito utilizado pelas empresas de energia elétrica de modo a ver as oscilografias de linhas de transmissão. Uma descarga atmosférica tem duração na ordem de grandeza de milissegundo, já a oscilografia tem o passo de milissegundo, alguns raios não são facilmente detectados pelo SINAPE em se tratando de transitório pré e pós falta, tem apenas a visualização de regime permanente pós falta.[16]

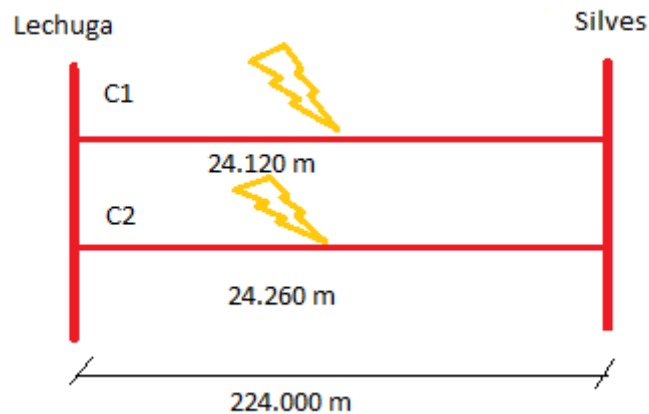


## 4 O CASO SILVES-LECHUGA

### 4.1 Descrição da ocorrência

Ressalta se que as subestações de Silves e de Lechuga fazem parte do chamado “Linhão de Tucuruí” é um conjunto de linhas importantes que levam energia da UHE Tucuruí, com cerca de 8.370 MW de potência instalada, para a cidade de Manaus. A linha completa faz o percurso de Tucuruí-Macapá-Manaus. No dia 23/10/2016 houve o desligamento às 15h28 dos dois circuitos que ligam Silves e Lechuga por motivos de descargas atmosféricas ocorridas a 24,12 km a partir da SE Lechuga na fase C do circuito 1, e no circuito 2 também na fase C a 24,26km Figura 13. A descarga atmosférica causou um curto circuito interno monopolar em ambos os circuitos.

Figura 13 - Local da falta [Elaboração própria]



A importância da baixa resistência de pé de torre é observada exatamente no momento do escoamento da corrente para terra, a resistência do pé de torre também chamada de



resistência

de

aterramento

(

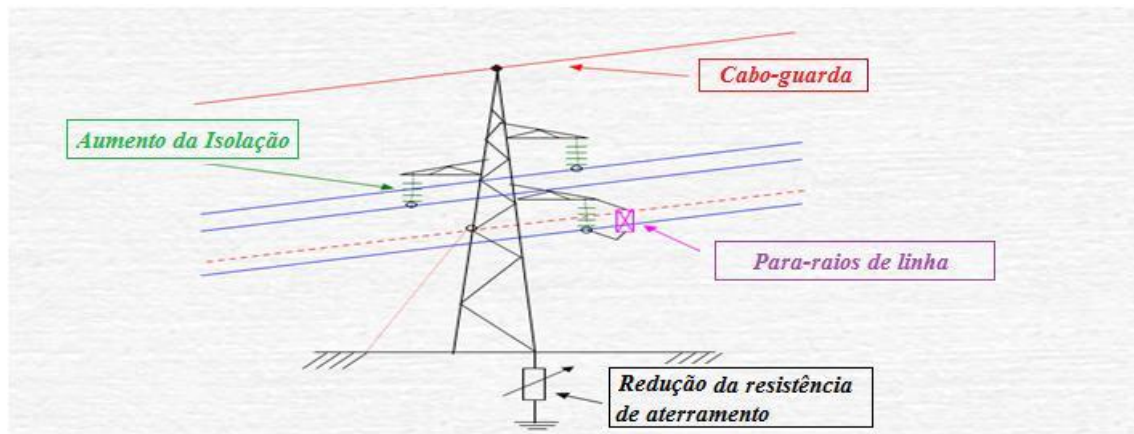


Figura 12) idealmente deve “enxergar” a torre como um fio de baixa resistência, para este caso menor que  $21\Omega$  definido na fase do projeto.

Os dois circuitos são próximos um do outro por que compartilham a mesma torre de transmissão, como mostra a Figura 14, o que justifica a falta ter acontecido aproximadamente no mesmo km da referida linha. Em termos relativos a distância de 140 m de uma falta do circuito 1 para o circuito 2 é uma distância pequena ao se comparar com as dimensões de distância da linha de transmissão.

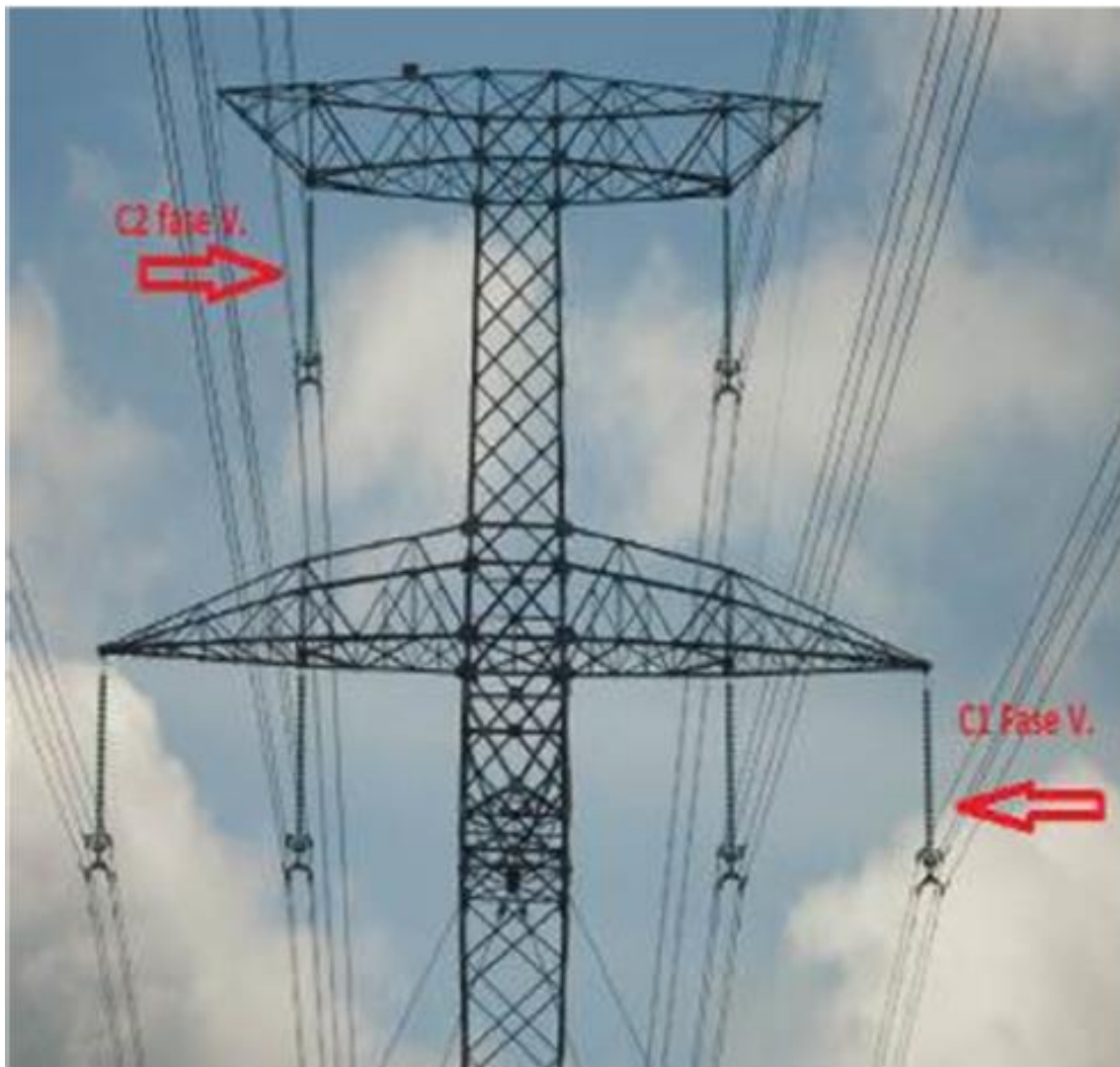


Figura 14 -Circuito 1 e Circuito 2 dispostos na torre de transmissão[9, adaptado]

O aplicativo GIS verificou o grande número de descargas nuvem-terra acontecidos no dia 23/10/2016 no intervalo de 15h00 até 16h00, visto que a perturbação aconteceu às 15h28, o cenário de descargas atmosféricas está contido neste intervalo. Os pontos de descarga atmosféricas são da base de dados do RinDat e BrasilDat em vermelho e azul respectivamente na Figura 15. Percebe-se que há descargas detectadas fora da delimitação do território brasileiro como na Venezuela, Colômbia e Peru que são dados tratados como espúrios para análise.

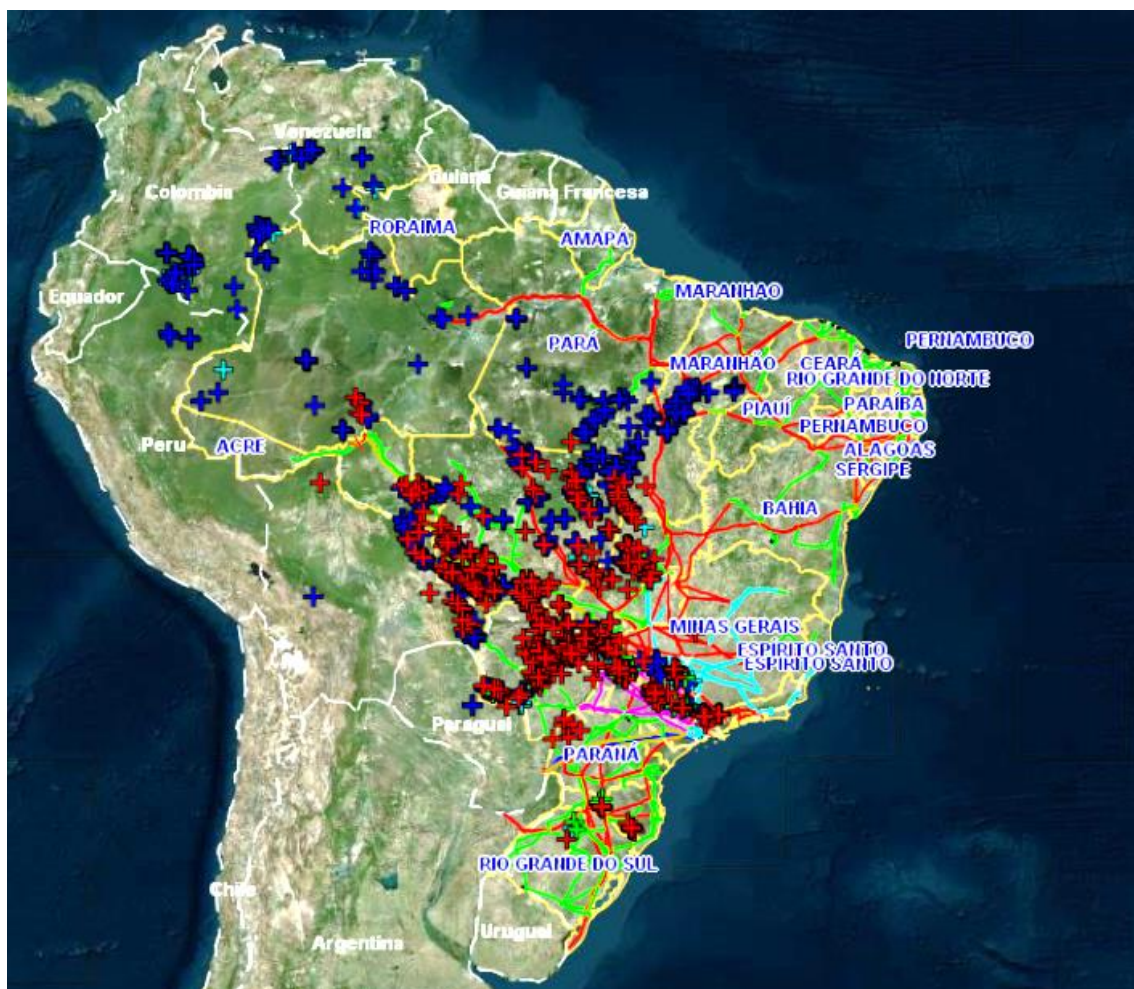


Figura 15- Descargas atmosféricas do dia 23/10/2016 das 15h às 16h [14]

O esquemático da área afetada, Figura 16 é facilitador para entendimento dos despachos e geração no instante da ocorrência que mostra geograficamente de forma simplificada a disposição das LTs. Nota-se que com o desligamento dos dois circuitos de Silves/Lechuga, a cidade de Manaus fica ilhada do restante do SIN, justificando a importância de tal LT para o abastecimento elétrico dos consumidores cativos. O ilhamento de determinada região é caracterizado pelo isolamento elétrico de suas fronteiras com as demais conexões que compõe o sistema elétrico brasileiro.

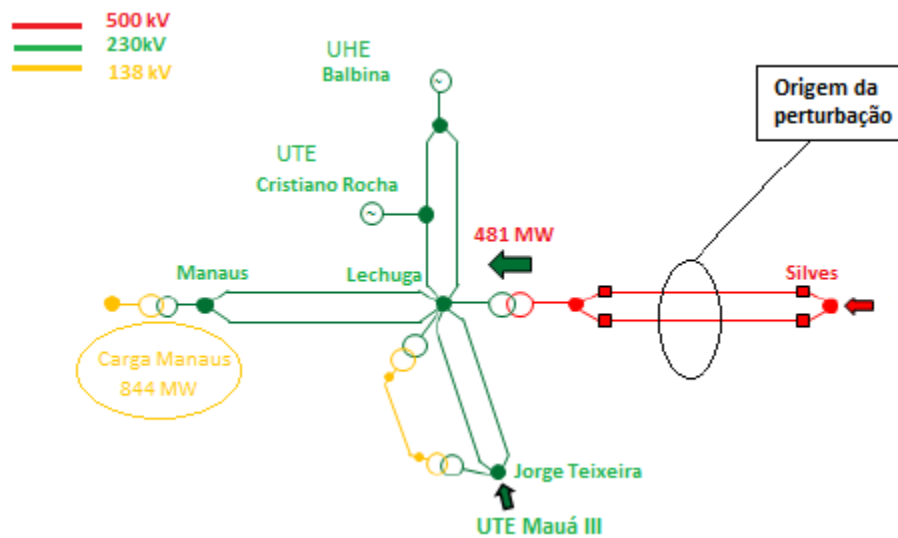


Figura 16- Esquemático da área afetada [9, adaptado]

A potência entregue pela LT Silves/ Lechuga à cidade de Manaus no instante anterior era de 481 MW, pode-se analisar sem prejuízos no resultado como a energia média dada em  $MW_{médio}$ , é usual se falar em termos de potência e não de energia. A carga total da cidade era de aproximadamente 844 MW, isto é 58% da carga da cidade era de responsabilidade da LT que desligou. Retirando a potência fornecida pela LT Silves/ Lechuga restam as usinas hidrelétricas UHE Balbina bem como a térmica UTE Cristiano Rocha, UTE Mauá III como fontes de geração, a UHE Balbina estava gerando em torno de 50 MW, a UHE Cristiano Rocha gerava 46 MW e a UTE Mauá III 55 MW que possuem sistema de reestabelecimento. Além da geração mencionada acima, existem as demais termoeletricas conectadas fora da Rede Básica de operação, como é o caso da UTE Tambaqui, UTE Jaraqui, UTE Manauara e UTE Ponta Negra estão conectadas no setor de 69 kV como ilustra a 15, durante a perturbação foram desligadas com geração de 49 MW, 57 MW, 62 MW e 60 MW respectivamente, as usinas estão destacadas com um retângulo.

[illegible]

As usinas térmicas UTE Mauá IV, UTE Mauá III, UTE Tambaqui, UTE Jaraqui, UTE Manauara, UTE Aparecida apresentavam várias unidades indisponíveis com registro de SGI por diversos motivos manutenção preventiva e corretiva de equipamentos. A análise da perturbação requer verificar as condições do SIN pela supervisão da Rede Básica de operação antes da perturbação afim de manter como referência as medidas de fluxo de potência, tensão, reativos, geração dos ativos envolvidos. A Figura 18 mostra as condições do SIN no instante que precedia a perturbação.



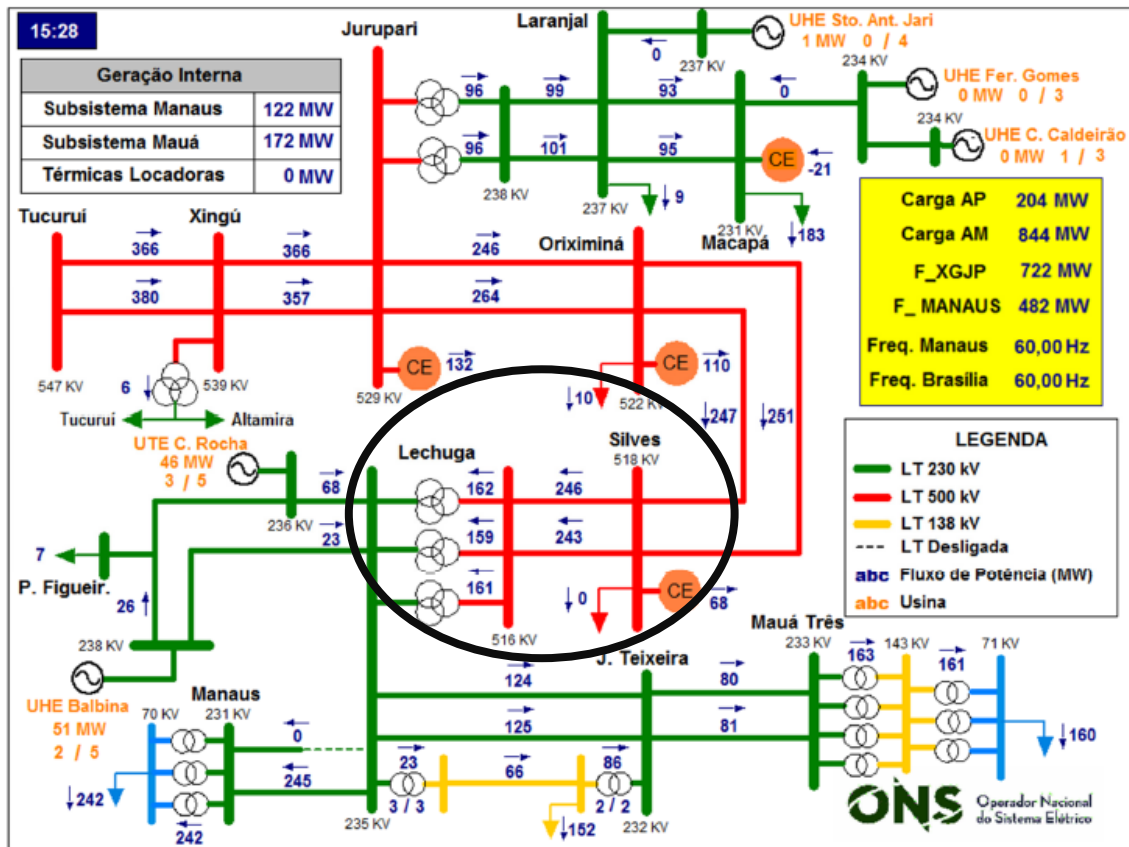


Figura 18- Diagrama da área afetada pré-perturbação [8, adaptado]

Com o ilhamento da cidade de Manaus com o SIN se tem como recurso a UHE Balbina, UHE Cristiano Rocha e a térmica UTE Mauá III, visto que mais da metade da carga de Manaus, (481 MW do total de 844 MW) do total estavam sendo alimentadas pela LT Silves/Lechuga que representa 58 % da carga da cidade de Manaus. Nota-se que no momento da perturbação estava indisponível a LT 230 kV Lechuga/ Manaus C1.

Os fluxos, cargas e frequência apresentados no quadrado à direita da cidade de Manaus e Xingu-Jurupari são grandezas importantes para o monitoramento e análise da ocorrência devido ao fato dos fluxos possuírem limites máximos definidos por estudos prévios. O F\_Manaus representa o somatório dos fluxos nos autotransformadores 500/230 kV da SE Lechuga, o fluxo FXGJP representa o fluxo Xingu / Jurupari é o somatório dos fluxos nas LTs 500 kV Xingu / Jurupari C1 e C2.

O desligamento da LT 500 kV Silves/ Lechuga C1 e C2 causado pela descarga atmosférica aconteceu 55 ms e 58 ms respectivamente após a incidência da descarga na linhas foi sanado com a abertura monopolar do disjuntor da fase C. Como podemos observar na oscilografia consequentemente o disjuntor atuou corretamente pela ativação das proteções.

As LT quando projetadas tem a parte de proteção contra descargas atmosféricas, como para raios e logicas que tem o objetivo de religar a LT em poucos segundos pós a falta, porém há um limite de poucas vezes (2 ou 3 vezes a depender do modelo de disjuntor) de religamento respeitando para que o regime transiente das tensões e correntes dos seguidos religamentos num intervalo curto de tempo compromete a qualidade da energia transmitida ou cause mais danos se não forem zeradas.

Os 5 estágios do ERAC atuaram de modo a atenuar a cargas solicitadas pela falta de potência que foi deixada de ser entregue, porém não houve sucesso no reestabelecimento geração versus carga por e consequência houve o blackout da área Manaus.

A Figura 19 mostra o comportamento da frequência no intervalo de 15h28 até 15h 29 do dia 23/10 /2016 na estampa de tempo de milissegundos. Nota-se que a frequência oscila e consegue se restabelecer no início da perturbação, porém após o desligamento dos dois circuitos que teve como consequência o ilhamento de Manaus há uma queda de tensão acentuada até que no instante 09 há a total instabilidade da frequência.

No instante 55ms e 60 ms aconteceram os curtos circuitos monofásicos para o Circuito 1 e Circuito 2 respectivamente.



Figura 19 - Comportamento da frequência no minuto da perturbação[8]

## 4.2 Processo de recomposição

Imediatamente após a perturbação o cenário do SIN é mostrado na Figura 20, o desligamento que iniciou a perturbação foi o motivo de outros desligamentos.

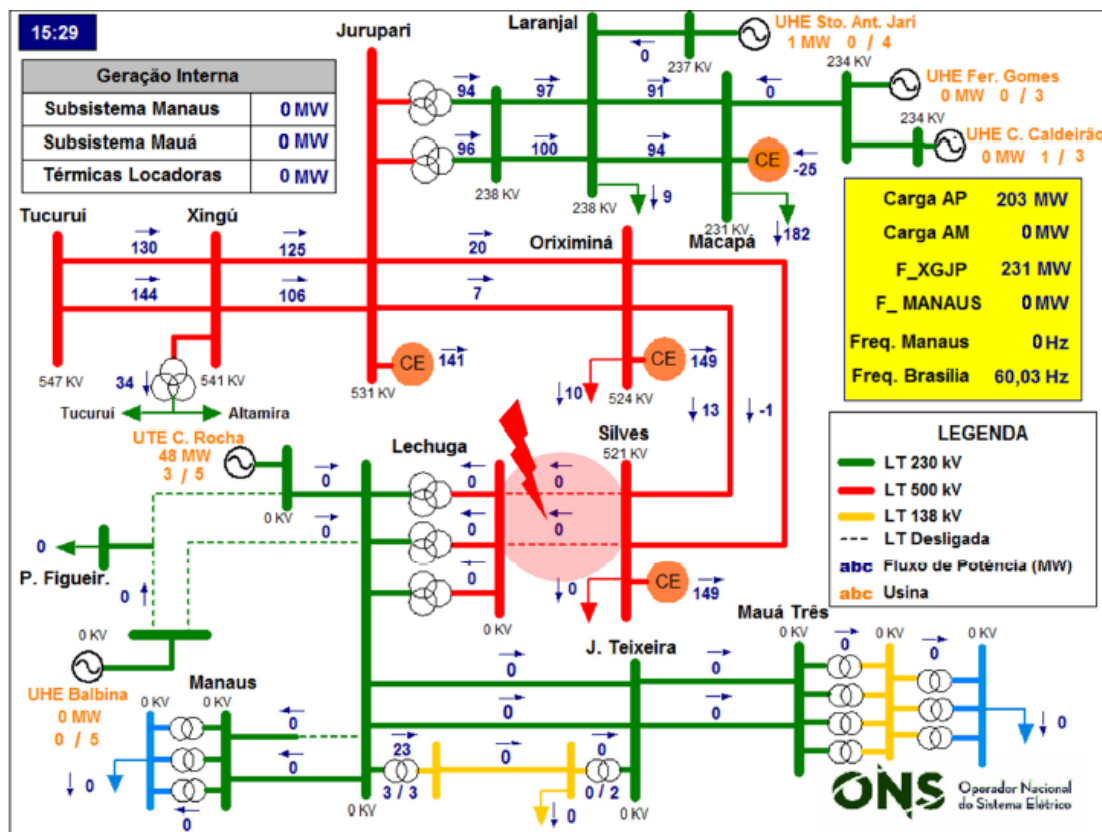


Figura 20- Diagrama da área afetada pós perturbação[8]

A LT 500kV Silves/ Lechuga C1 foi o primeiro equipamento a ser religado dentre transformadores unidade geradoras e as outras linhas, ela foi religada às 15h39 e a LT 500 kV Silves/ Lechuga C2 foi religada às 16h47. Entre o período do início da perturbação e o religamento houveram uma sequência de desligamentos causados pelo desligamento da LT 500 kV Silves / Lechuga que abriu a interligação Tucuruí / Manaus.

Após a conclusão do processo de recomposição, a LT 230 kV Lechuga - Manaus C1 permaneceu desligada para a conclusão dos serviços de manutenção cadastrados no SGI. A linha foi religada às 19h42min do dia 24/10/2016 após a conclusão da intervenção.



## 5 ANÁLISE DE RESULTADOS

Na LT 500kV Silves-Lechuga ocorreu o desligamento causado por um curto circuito interno das fases C dos dois circuitos, a Figura 21 representa o comportamento da corrente e tensão ao longo do tempo na escala dos milisegundos no circuito 1 que será análogo para o circuito 2. O curto circuito interno é caracterizado como um pico de tensão que possui voltagem suficiente para romper a barreira dielétrica do ar mediante arco fotovoltáico e seguir o percurso menos resistivo para terra (menor potencial) que no caso da linha de transmissão será a estrutura metálica da torre. Como consequência a sobrecorrente oriunda da descarga atmosférica é escoada para terra percorrendo o caminho estrutural da torre. O pico de tensão foi na fase C podendo ser observado quando comparado aos níveis de tensão das outras fases ainda na Figura 21, logo após a tensão cai até zero na fase C a corrente aumenta até o ponto em que atua a abertura do disjuntor monopolar como proteção da fase.

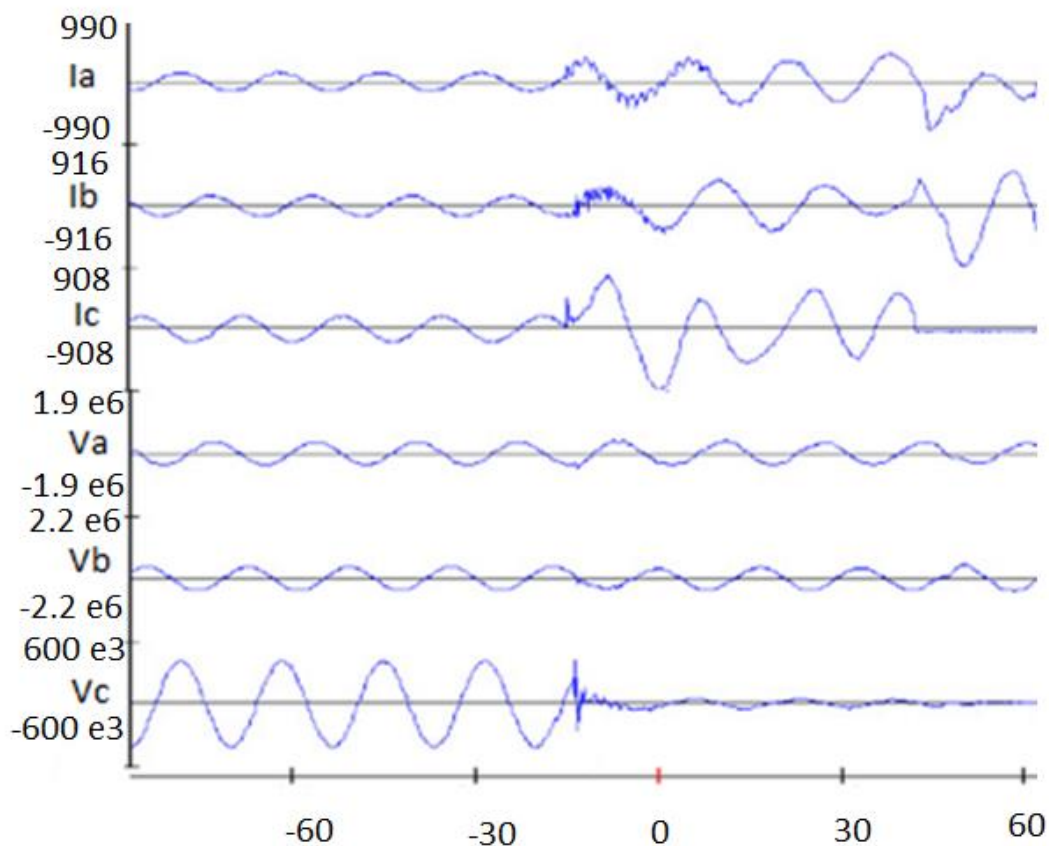


Figura 21-Oscilografia genérica de uma falha tipo curto circuito da Fase C [8, adaptado]

Houve a ativação do ERAC e seus 5 estágios, ou seja aproximadamente 60% da carga foi aliviada para o equilíbrio da frequência. Porém o Fluxo Manaus estava mais que metade, 58%, como o fluxo que passava pelos transformadores de 500/230 kV era mais que a metade e, portanto, o ERAC não teve sucesso na função de estabilizar a frequência próxima aos 60 Hz. A inequação que rege o sistema Manaus afirma que o Fluxo Manaus dever ser no máximo 45% da Carga Manaus.

O tempo de recomposição total da área Manaus foi de 79 minutos do início da perturbação até o religamento total dos equipamentos desligados, visto que foi iniciado o processo de retomada de cargas aos 29 minutos através da SE Jorge Teixeira foi ocasionado após o religamento da LT 138kV Jorge Teixeira / Multirão C1. O relatório de análise é importante para aprimorar os pontos que atrasaram de alguma forma o tempo de recomposição.

No caminho que a descarga atmosférica percorre para escoar a descarga imprevista pode-se trazer danos aos equipamentos que se encontram próximos do local,

como a Figura 22 e Figura 23 ilustram a consequência severa que a descarga a qual deixou marcas físicas nos isoladores das LT.



Figura 22 - Isoladores danificados do C1 e C2 [9, adaptado]

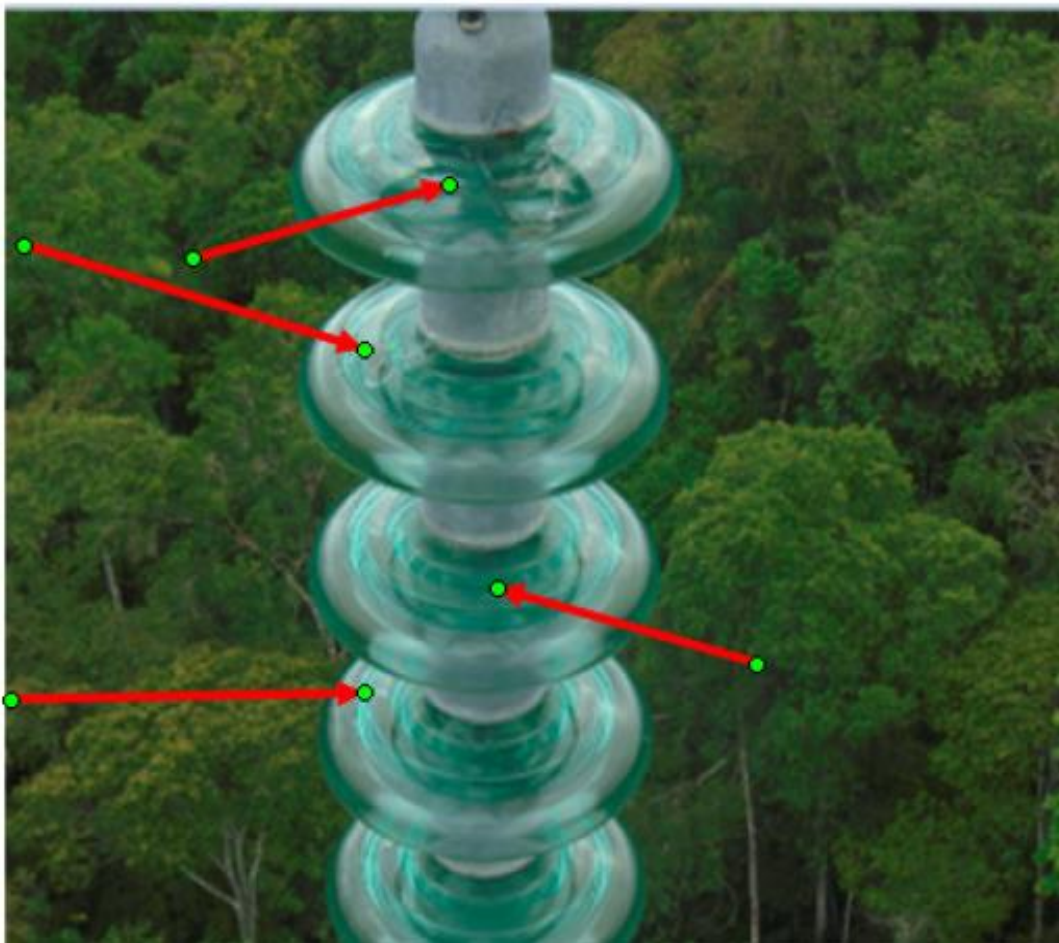


Figura 23 - Isoladores danificados do C1 e C2 [8]

Para fins corretivos foram realizados testes de resistência de aterramento da torre próxima ao acontecimento da descarga na torre imediatamente anterior e na torre posterior e encontrou-se:

$$R_{T1} = 5,60 \, \Omega$$

$$R_{T2} = 13,44 \, \Omega$$

$$R_{T3} = 10,20 \, \Omega$$

As resistências de aterramento estão abaixo do limite máximo especificados. A Figura 24 representa as torres afetadas em que os dois circuitos estão dispostos e seus arredores, corresponde a T2 e T3

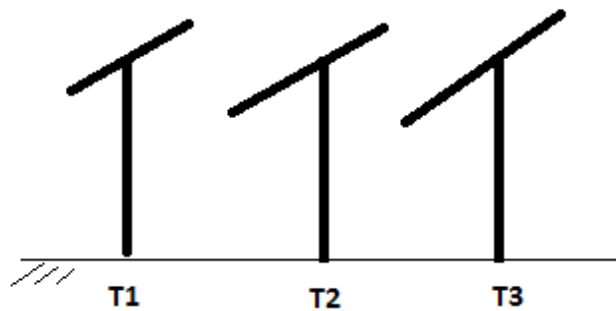


Figura 24- Torres de transmissão T1, T2 e T3[Elaboração própria]

A apresentação dos procedimentos burocráticos quando acontece a indisponibilidade de um equipamento é realizada seguindo a resolução da ANEEL e pelos Procedimentos de Rede do ONS. A Figura 25

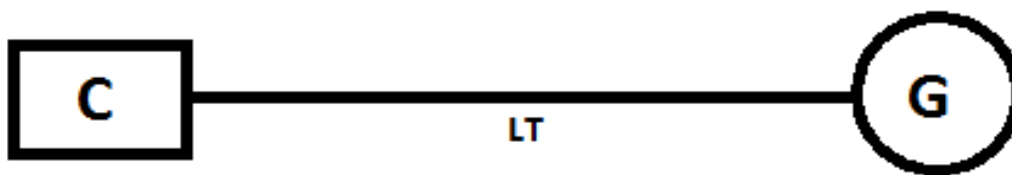


Figura 25 mostra o modelo simplificado de transmissão de energia, existem os consumidores e a geração eles são conectados pelas linhas de transmissão.

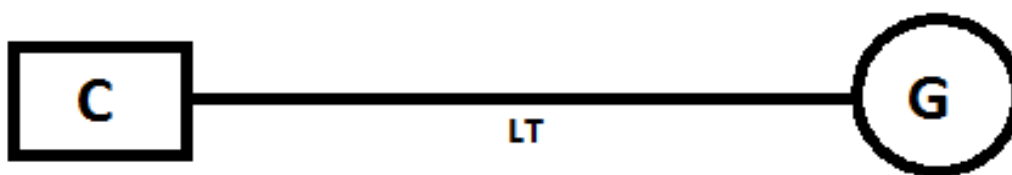


Figura 25- Modelo simplificado de transmissão de energia[Elaboração própria]

Os consumidores e os agentes geradores possuem contratos para oficializar os tramites de venda e compra de energia. Em termos contratuais é realizado do lado da distribuição temos o Contrato de Prestação de Serviço de Transmissão –CPST e do lado da Geração o Contrato de Uso do Sistema de Transmissão – CUST. Os consumidores são

representados pelo quadrado e os geradores são representados pelo círculo da Figura 25 o equipamento que ligam os dois são as linhas de transmissão

O agente proprietário da distribuição tem a parcela variável descontado da Receita Anual Permitida - RAP pelos critérios estabelecidos na REN 729 / 2016 e também pelo PR 15.6 e 10.22. No ponto de vista do agente gerador os parâmetros e critérios são definidos pela REN 666/2015 e também pelos PR 15.7 e 15.8.

A ideia central é que tudo que seja gerado seja consumido, portanto  $C=G$  da Figura 25, em termos financeiros na unidade [R\$] temos que equilibrar a equação:

$$RAP - PV = (MUST \times TUST) - Plu - Pls \text{ [R\$]}$$

RAP	Receita anual permitida
PV	Parcela Variável
MUST	Montante do Uso do Sistema de Transmissão
TUST	Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão
Plu	Parcela de Ineficiência por ultrapassagem
Pls	Parcela de Ineficiência por sobrecontratação

No estudo de caso da LT 500 kV Silves / Lechuga deixará de receber do Pagamento Base – PB a que é a RAP /12 a Parcela Variável por Indisponibilidade – PVI, parcela a ser deduzida do PB de uma função transmissão por Desligamento Programado ou Outros Desligamentos;

O Art. 8º da PVI relata como deve ser calculado o valor mensal seguindo a equação abaixo:

$$PVI = \frac{PB}{24 * 60 * D} * (Kp * \sum_{i=1}^{NP} (PADP_i) + \sum_{j=1}^{NO} (Ko_j * PAOD_j))$$

Sendo:

D	Número de dias no mês da ocorrência;
24.60.D	Número de minutos no mês da ocorrência;
PB	Pagamento Base da FT relativo ao mês de início da ocorrência do evento;

PADPi	Período Associado a Desligamento Programado i, em minutos;
PAODj	Período Associado a Outro Desligamento j, em minutos;
KP	Fator multiplicador para Desligamento Programado (item 1 do Anexo);
KO	Fator multiplicador para Outros Desligamentos (item 1 do Anexo), sendo que esse fator será reduzido para KP após o 300º minuto;
NP	Número de Desligamentos Programados da FT ocorrido ao longo do mês; e
NO	Número de Outros Desligamentos da FT ocorrido ao longo do mês.

O anexo da REN 729 relata qual o valor de multiplicação para diversas classificações de desligamentos de funções transmissão, sendo Ko= 150

Tabela 5 - Fatores de multiplicação Ko e Kp, Resolução Normativa nº729 de 28 de junho de 2016 [18]

FT	Família de FT	Padrão de Duração de Desligamentos		Padrão de Frequência de Outros Desligamentos (desl./ano)	Fator Ko	Fator Kp
		Programados (hora/ano)	Outros (hora/ano)			
LT	≤ 5km(*)	26	0,5	1	150	10
	>5km e ≤50Km(*)	26	1	1		
	>50km - 230kV	21	1,5	3		
	345kV	21	1,5	2		
	440kV	38	1,5	2		
	500kV	38	2	2		
	750kV	38	2,3	3		
	Cabo Isolado(*)	54	0,5	não possui	50	2,5
TR	≤345kV	21	1	1	150	10
	>345kV	27	1	1		
CR	REA	≤345kV	58	2	150	10
		>345kV	26	1,5		
	CRE	(*)	73	19,17	150	7,5
	CSI	(*)	333	17	50	2,5
	BC	(*)	46	3	100	5,0
	CSE	(*)	20	5,6	150	7,5

Substituindo valores na equação se tem a expressão do PVI /minuto para cada circuito da função transmissão em questão:

$$PVI/min = \frac{PB}{24 * 60 * 31} * 150$$

Considerando que os dois circuitos foram disponibilizados juntos pelo agente operador 7 minutos após o desligamento, apesar do circuito 2 ter sido ligado ao fim do processo de recomposição por motivos técnicos, a parcela que o agente proprietário deixou de receber do pagamento base definido foi de aproximadamente para os dois circuitos,

quase 5% do Pagamento Base em termos monetários obedecendo a Lei 12.783, de 11 de janeiro de 2013. apresenta aproximadamente R\$.75.000,00. O tempo de recomposição total foi de 79 minutos sendo que o início de entrada de carga tenha acontecido já aos 29 minutos.



## 6 CONCLUSÃO

A proteção contra descargas atmosféricas tem papel fundamental na minimização de consequências negativas para a rede elétrica local e seus arredores. No caso estudado houve um curto circuito interno monopolar causado pela descarga atmosférica. A atuação da proteção propiciou a abertura monopolar na fase atingida pela descarga atmosférica e evitou o agravamento de danos adicionais. A recomposição total da área afetada aconteceu 79 minutos após o desligamento, embora o início de entrada de carga tenha acontecido já aos 29 minutos.

A abertura do disjuntor monopolar protegeu a fase C de um curto circuito em um primeiro momento e logo após a corrente foi escoada para terra pela estrutura metálica que desempenhou a função de condutor de descida da descarga atmosférica. Para minimizar o efeito *back flash over*, faz-se necessário uma baixa resistência de aterramento da torre de transmissão, cujo valor máximo para o caso em análise é de 21  $\Omega$ . Após a perturbação, foram realizados testes de medição do pé de torre que apresentaram valores abaixo do limite máximo, portanto satisfatórios.

Descargas atmosféricas em linhas de transmissão são frequentes no cotidiano da operação do SIN. Tais fenômenos devem ser contornados com as atuações corretas da proteção aliado com a baixa resistência do pé de torre pois um equipamento indisponível traz transtornos à sociedade bem como aos agentes, houve abatimento de cerca de 5% do Pagamento Base nos 7 minutos de indisponibilidade considerando os dois circuitos.

Ficaram evidenciados que os eventos provocados por descargas atmosféricas causam prejuízo tanto para os agentes proprietários do equipamento em termos das parcelas variáveis e da troca de equipamentos, como também para a sociedade que a cada dia é mais dependente de eletricidade seja no comércio, hospitais, escolas.

## **6.1 Sugestão de trabalhos futuros**

Para amortização de impactos causados por incidência de descargas atmosféricas em Linhas de Transmissão de energia sugerem-se:

- Criar um processo que diminua a resistência de pé de torre ao perceber uma alta corrente oriunda de descargas atmosféricas;
- Criar um sistema eficiente de comunicação instantânea entre os fenômenos naturais nas LTs e registos dos agentes;

Como trabalho futuro, sugere-se o Modelo de reaproveitamento de descargas atmosféricas para reinjeção de energia em LT de alta tensão é detalhado a seguir. Detalhamento em anexo 7.1

## 7 Anexo

### 7.1 Modelo de reaproveitamento de descargas atmosféricas

Elaborar outras formas de reaproveitamento de descargas atmosféricas apresentado no item 6.1 são soluções para drenar as descargas atmosféricas indesejadas em LTs. As descargas atmosféricas são fenômenos naturais que acontecem desde os primórdios, portanto é necessário a convivência de equipamentos elétricos com tal fenômenos, porém é importante manuseá-las de forma a contribuir em prol da eletricidade com novas ideias seja de proteção ou reutilização de descargas atmosféricas. O reaproveitamento é um estudo recente sem muito aprofundamento em 2017

A “captura” da energia oriunda de descargas atmosféricas por meio de super capacitores acoplados nas linhas de transmissão -LT de alta tensão serão instalados prioritariamente em LTs da Rede Básica de operação. Entende-se Rede básica como classes de tensões maiores que 230kV, o histórico de 2008 a 2011 mostra porcentagem de desligamentos do SIN por motivo de descargas atmosféricas nas devidas classes de tensão.

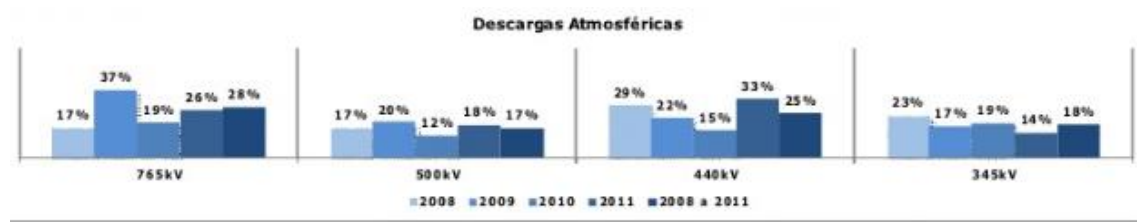


Figura 26- Histórico de desligamentos por descargas atmosféricas

A Figura 1 ressalta a tendência do Brasil apresentar elevado número de descargas atmosféricas, tais eventos mostrados retratam apenas as descargas que causaram desligamento das LTs, visto que além dessas há descargas que não desligam a LT pela correta atuação da proteção da linha. Portanto o reuso de energia que atualmente é enxergada como um fenômeno natural que traz desligamentos de LT e interrompem o serviço de transmissão de energia, será convertido em mais uma aliada de fonte limpa e renovável de energia. Visto que as descargas atmosféricas são um fenômeno natural que desde os primórdios se fazem presente na Terra.

Há estudos de Supercapacitores e de e Tecnologias Supercondutora de Armazenamento de Energia Magnética (SMES) em diferentes estádios de P& D, embora alguns dispositivos estejam se tornando comercialmente acessíveis. Os estudos visam materiais de nano-carbono, a fim de aumentar a densidades de potência dos supercapacitores e para melhorar a vida útil do ciclo e operações.

A Espanha está envolvida em projetos de demonstração para supercapacitores (Canary Island). O projecto HyHEELS é outro projeto que considera Supercapacitores como um meio para otimizar sistemas baseados em hidrogênio. Quanto às SMES, existem vários projetos de demonstração bem-sucedidos, na Alemanha, Finlândia e França. Estes projetos operam a 20 kW, os protótipos das SMES foram igualmente desenvolvidos em Itália, Alemanha, Espanha. [Migliavacca et al.]

Não existe a tecnologia de reaproveitamento de descargas atmosféricas no mundo, o Brasil é um país que tem altos índices de descargas atmosféricas durante todo o ano, além de ser um país que possui dimensões continentais, a canalização de energia oriunda de descargas ajudará no âmbito de energias renováveis para utilizar eletricidade.

O modelo de aproveitamento das descargas atmosféricas é apresentado na Figura 27, a ideia central é capturar toda energia em um banco de baterias que carrega rapidamente, ordem de milissegundos, é armazenado na bateria e em seguida é invertido para corrente alternada e devolver de forma gradual e controlada a energia capturada oriunda da descarga atmosférica.

Sistema  
Monofásico

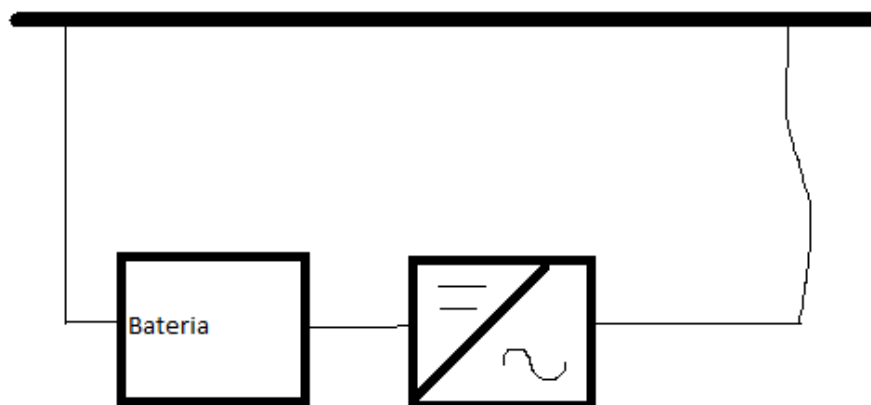


Figura 27- Modelo de reaproveitamento de descargas elétricas [Elaboração própria]

O horário para injeção de corrente seria em situações em que se tem pouca capacidade de geração ou tempo de carga pesada a depender das especificações de cada LT. Ou seja, o objetivo é injetar a corrente "extra" quando há necessidade sem causar sobrecarga na LT.

Uma alternativa é conectar a proposta de reaproveitamento de descargas com para raios conectados à comunidades carentes que não tem condições financeiras de pagar pelo uso da rede de distribuição. Em que nesse esquema os consumidores não têm de pagar uma fatura mensal de energia elétrica, há gasto com a instalação e baixíssimo gasto com a manutenção de condutores os quais tem vida útil de mais de 20 anos.

A proposta contribui com os "17 objetivos para transformar o mundo" ONU ,Figura 31 item 7 –"energia e acessível" presente neste modelo.



Figura 31- Objetivos de desenvolvimento sustentável

É necessário realizar a armazenagem da energia rapidamente, nesse caso encontra-se um empecilho limitado pela capacidade de armazenar energia. Há estudos que tratam de super capacitores os quais se encaixam muito bem na solução do problema de armazenamento de energia para depósito gradual na rede, similar ao do sistema fotovoltaico conectado à rede, para proveito de uma energia que é “desperdiçada” de uma fonte limpa e sem custos como as descargas atmosféricas. A meta é utilizar o fenômeno natural que hoje em dia é enxergado como maléfico a favor da sociedade e modicidade tarifária.

A execução do projeto de reaproveitamento de energia elétrica se dá de forma fácil, porque é um acessório acoplado em linhas de transmissão já existentes. A torre, os cabos, já estão preparados, o incremento seria o supercapacitor a bateria e o inversor. A manutenção desses equipamentos pode ser feita junto com os equipamentos ao longo de toda a LT, além da vida útil de supercapacitores serem bem próximas da vida útil de uma LT convencional, a tendência é ter um custo incremental baixo.

As LTs de altas tensões são lugares propícios de atração de descargas, porque estão em torres em altas distâncias verticais do solo, a maioria já possui para-raios portanto resta realizar a reinjeção de energia na LT com sistema de aproveitamento de descargas atmosféricas

A nova fonte renovável seria a descarga que nos é entregue de forma natural e sem custos com insumos iniciais, não depende de nenhum combustível para a nova maneira de pensar em “geração” de energia. Ela vem pronta da nuvem para terra, cabe capturá-la e transmitir de forma controlada e gradual, quando se tem mais carência.

A disposição dos equipamentos aliada com a implantação de Smart Grids é a tendência para as cidades do amanhã de forma que a energia é gerada de forma limpa e

sustentável possível híbrida com as usinas hidráulicas que o Brasil possui e controlada de forma inteligente para a população.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Destaques do ano 2015- Operador Nacional do Sistema Elétrico

[2] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE

Disponível:

<<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/relampagos.e.efeitos/sistema.eletrico.php>>, acesso em março de 2017

[3] Plano Decenal de Expansão de Energia - PDE

<[www.epe.gov.br/PDEE/Forms/EPEEstudo.aspx](http://www.epe.gov.br/PDEE/Forms/EPEEstudo.aspx)> acesso em março de 2017

[4] Filosofia e lógica dos documentos operativos do MPO

Disponível em

:<[http://extranet.ons.org.br/operacao/mpo.nsf/4dec3975968d2a9583257036006176ad/\\$FILE/ATTAR6RL.pdf/Filosofia%20e%20l%C3%B3gica%20dos%20documentos%20operativos%20do%20MPO.pdf](http://extranet.ons.org.br/operacao/mpo.nsf/4dec3975968d2a9583257036006176ad/$FILE/ATTAR6RL.pdf/Filosofia%20e%20l%C3%B3gica%20dos%20documentos%20operativos%20do%20MPO.pdf)>, acesso em abril 2017

[5] Notícia G1

Disponível em : <<http://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2016/10/uea-anula-1-dia-de-vestibular-e-prova-da-segunda-feira-esta-confirmada.html>>. acesso em Abril 2017

[6] Notícia G1

Disponível em:<<http://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2016/10/vestibular-da-uea-tem-tumulto-e-alunos-fazem-prova-em-corredor.html>>, acesso em abril 2017

[7] Nota ONS à imprensa

Disponível em :

[http://www.ons.org.br/sala\\_imprensa/2016out24-ocorrencia-manauas.aspx](http://www.ons.org.br/sala_imprensa/2016out24-ocorrencia-manauas.aspx), acesso em abril de 2017

[8] Procedimentos de Rede ONS

Disponível em

:<[http://apps05.ons.org.br/procedimentorede/procedimento\\_rede/procedimento\\_rede.aspx](http://apps05.ons.org.br/procedimentorede/procedimento_rede/procedimento_rede.aspx)>, acesso em Abril 2017

[9] RE 3 176/2016 - Análise da perturbação do dia 23/10/2016 às 15h28 com origem nas LTs 500kV Silves-Lechuga C1 e C2 provocando interrupção total das cargas da cidade de Manaus.

[10] Indicadores de desempenho



Disponível em

:<[http://www.ons.com.br/indicadores\\_desempenho/qualidade\\_operacao\\_old.aspx](http://www.ons.com.br/indicadores_desempenho/qualidade_operacao_old.aspx)> ,  
acesso em Abril 2017

[11] Indicadores de desempenho

Disponível em:

<[http://www.ons.org.br/images/indicadores\\_desempenho/perturbacoes\\_2014.PNG](http://www.ons.org.br/images/indicadores_desempenho/perturbacoes_2014.PNG)> ,  
acesso em maio 2017

[12] Como funciona o GPS

Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/gps/2562-como-funciona-o-gps-.htm>>  
acesso em maio 2017

[13] Aplicação da Tecnologia GIS e de Georreferenciamento na Operação do SIN no  
ONS

Disponível em:<<http://slideplayer.com.br/slide/1478921/>>, acesso em maio 2017

[14] GIS - *Geografic Instrumental System*

Disponível em : <http://ons.com.br/>

[15] Foto descargas atmosféricas

Disponível em : <<http://www.portaleletricista.com.br/wp-content/uploads/2015/11/nbr1.png>>, acesso em abril 2017

[16] SINAPE - Sistema Integrado de Apoio à Análise de Perturbações

Disponível em :<<http://www.cepel.br/produtos/sinape-sistema-integrado-de-apoio-a-analise-de-perturbacoes.htm>>, acesso em maio de 2017

[17] Eletronorte- Tocantins

Disponível em :

<<http://www.eletronorte.gov.br/opencms/opencms/pilares/transmissao/estados/tocantins/>>, acesso em junho 2017

[18] Resolução Normativa nº 729/2016

Disponível em : <[www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2016729.pdf](http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2016729.pdf)>, acesso em maio 2017

[19] MIGLIAVACCA, et al ,Advanced Technologies for Future Transmission Grids – 2013

[20] Lei 12.783, de 11 de janeiro de 2013.

Disponível em :[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2013/Lei/L12783.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12783.htm), acesso em Agosto 2017